

С. Г. Крапивинъ  
приватъ-доцентъ Московскаго университета.

---

# ЭНЕРГІЯ

и ея ПРЕВРАЩЕНІЯ.



Типографія Т-ва И. Д. Сытина, Пятницкая ул., свой домъ.  
МОСКВА.—1905.

## ПРЕДИСЛОВІЕ.

---

За послѣднія десять лѣтъ въ русскомъ обществѣ повторилось оживленіе интереса къ естествознанію, подобное наблюдавшемуся въ шестидесятихъ годахъ. Это оживленіе нашло себѣ отвѣтъ въ появленіи цѣлаго ряда научно-популярныхъ книгъ, а также и въ томъ, что въ программахъ почти всѣхъ „временныхъ курсовъ“, — даже въ послѣднее время, когда событія текущихъ дней, казалось, должны были бы отодвинуть на задній планъ изученіе точныхъ наукъ, — фигурировали лекціи по естествознанію. Автору этой книжки приходилось неоднократно читать лекціи по „введенію въ естествознаніе“ на краткосрочныхъ повторительныхъ курсахъ, устраиваемыхъ для преподавателей начальныхъ земскихъ школъ. На основаніи бесѣдъ со слушателями, онъ пришелъ къ выводу, что слушателей удовлетворяло не сообщеніе новыхъ фактовъ, а главнымъ образомъ, выводы и заключенія, которыми достигается единство и правильная группировка прочитаннаго и усвоеннаго ими самими. Убѣдившись на основаніи опыта нѣсколькихъ лѣтъ въ томъ, что изложеніе основныхъ выводовъ ученія объ энергіи представляетъ наиболѣе подходящій методъ для объединенія отдѣльныхъ явленій природы (главнымъ образомъ физико-химическаго типа), который хорошо усваивается слушателями, авторъ рѣшилъ выпустить въ свѣтъ „Энергію и ея превращенія“ въ качествѣ книги

для самообразованія для читателей, знакомых хотя бы съ „Химіей“ Роско и „Физикой“ Стюарта \*).

Предлагаемая книга не представляет изложенія читанных авторомъ лекцій, а только передаетъ, такъ сказать, характеръ ихъ. Фактическій матеріалъ служить средствомъ для вывода извѣстныхъ правильностей и для иллюстраціи и подтвержденія уже сдѣланныхъ заключеній. Поэтому при описаніи приборовъ почти всегда только указывается принципъ ихъ устройства, а при описаніи отдѣльныхъ явленій — ихъ суть, а ни въ какомъ случаѣ не подробности. Читатели не найдутъ въ этой книгѣ отдѣльнаго изложенія теорій растворовъ, правила фазъ и многихъ другихъ теорій и фактовъ: *полноты* этого рода авторъ не добивался, а только ставилъ себѣ задачей показать приложеніе ученія объ энергіи на явленіяхъ разнообразныхъ типовъ.

За всѣ указанія относительно желательныхъ дополненій и примѣненій авторъ будетъ очень признателенъ.

С. Г. Крайнович.

Москва.  
Іюль 1905 года.

---

\*) Изд. „Серія первоначальныхъ учебниковъ“ изданія „Научно-образовательной бібліотеки“.

# В В Е Д Е Н І Е.

## Матерія и энергія.

Каждый человек поисволѣ обращаетъ вниманіе на то, что окружающее его пространство далеко не однородно. Это происходитъ оттого, что при посредствѣ нашихъ органовъ чувствъ (органовъ зрѣнія, обонянія, осязанія, мышечнаго чувства, вкуса и слуха) мы получаемъ различныя впечатлѣнія отъ различныхъ частей пространства.

Въ самомъ дѣлѣ, положимъ, что мы обращаемъ вниманіе на нѣкоторую часть пространства, которая по цвѣту отличается отъ окружающей среды. Если мы видимъ границу этой разницы цвѣта, то сейчасъ же можемъ судить о формѣ и о величинѣ этой части. Изслѣдуя ее при помощи другихъ органовъ чувствъ, мы узнаемъ, холодная она или теплая, гладкая или шероховатая, легкая или тяжелая и т. д. При этомъ изслѣдованіи мы часто убѣждаемся, что граница разницы цвѣта совпадаетъ съ границей степени гладкости и т. д., такъ что у насъ въ концѣ-концовъ получается представленіе объ опредѣленной части пространства, ограниченной отъ окружающей среды и производящей поэтому особенное дѣйствіе на наши органы чувствъ, т.-е. обладающей извѣстными опредѣленными признаками или свойствами. Можно привести очень наглядный примѣръ такого постепеннаго „изученія“: представимъ себѣ, что мы поднесли очень близко къ глазамъ кружокъ изъ красной бумаги. Сначала мы видимъ только красный

цвѣтъ; потомъ, удаляя кружокъ отъ глаза, мало-по-малу видимъ его края и узнаемъ, насколько онъ великъ. Потомъ прикасаемся къ нему рукой и т. д. и т. д. и, наконецъ, убѣждаемся, что это „что-то красное“ ни что иное, какъ кружокъ изъ красной бумаги, опредѣленной величины. При такомъ изученіи часто приходится обращать вниманіе на части пространства, рѣзко отличающіяся цвѣтомъ рядомъ признаковъ или свойствъ отъ окружающей среды, но въ то же время совершенно сходныя по цвѣту, запаху, вкусу, относительной тяжести и т. д. Части эти не одинаковы, и отличаются другъ отъ друга только формой, величиной и, пожалуй еще, положеніемъ въ пространствѣ. Такъ какъ форма, величина и положеніе легко могутъ измѣняться, то иногда мы не придаемъ этимъ признакамъ большого значенія, а наоборотъ, подчеркиваемъ одинаковость другихъ свойствъ и говоримъ тогда, что изслѣдуемая часть пространства заполнена однимъ и тѣмъ же *веществомъ*. Такимъ образомъ, мы приходимъ къ представленію о томъ, что мы называемъ *физическимъ тѣломъ* <sup>1)</sup>. Итакъ, *физическое тѣло* или просто *тѣло*, это — *опредѣленная часть пространства, ограниченная отъ окружающей среды, производящая особые дѣйствія на наши органы чувствъ (обладающая опредѣленными свойствами) и выполненная веществомъ или матеріей*. Съ другой стороны, когда мы говоримъ о свойствахъ какого-нибудь тѣла, не касаясь его формы, величины и положенія въ пространствѣ, то мы, значить, говоримъ о свойствахъ *вещества* или *матеріи*; изъ котораго состоитъ это тѣло. Это все не такъ трудно понять, какъ кажется на первый взглядъ. Стеклонная чечевица (двойко-выпуклое, „зажигательное“ стекло), стеклянный кубикъ, стеклянные призмы различной формы и величины, подвѣшенный на веревкѣ большой кусокъ толстаго

<sup>1)</sup> Говоря о тѣлѣ *геометрическомъ*, мы совершенно не касаемся вопроса о веществѣ, выполняющемъ пространство, занятое тѣломъ.

стекла,—представляют рядъ *тѣлъ* съ опредѣленными свойствами, изъ которыхъ много (например, способность такъ или иначе измѣнять ходъ лучей свѣта) зависятъ отъ формы, другіе—отъ положенія и величины (сила удара при паденіи куска стекла). Въ то же время прозрачность, безвѣтность, хрупкость, твердость, непроницаемость для воды и другихъ жидкостей,—все это свойства *вещества* стекла. Очень характерно то обстоятельство, что и въ обыденной жизни всегда говорятъ *стеклянная* призма, *железный* ножъ, и въ то же время *стекло*—хрунко, *железо*—притягивается магнитомъ и т. п., и такимъ образомъ какъ бы подчеркиваютъ разницу между *тѣломъ* и *веществомъ*, его составляющимъ.

При изученіи свойствъ тѣла или вещества мы часто наталкиваемся на такіе случаи, когда для обнаруженія извѣстныхъ свойствъ у насъ не оказывается подходящихъ органовъ чувствъ. Напримеръ, можно ли, пользуясь *непосредственно* нашими органами чувствъ, опредѣлить, намагничена ли стальная полоска или нѣтъ? Если мы станемъ сравнивать двѣ одинаковыхъ полоски, изъ которыхъ одна намагничена, а другая нѣтъ, то окажется, что по внѣшнему виду, по тепловымъ ощущеніямъ, по относительному вѣсу и т. д. мы рѣшительно не замѣчаемъ никакой разницы между ними. А между тѣмъ стоитъ только поднести къ каждой изъ нихъ железный или стальной брусокъ, и мы сейчасъ *увидимъ*, что брусокъ притянется намагниченной полоской, а если попробуемъ оторвать его отъ полоски, то сейчасъ же убѣдимся *мыслечнымъ чувствомъ*, что, дѣйствительно, полоска крѣпко держитъ брусокъ. Точно такъ же нѣтъ у насъ и особеннаго органа для обнаруженія въ тѣлахъ электрическихъ свойствъ, и мы прибѣгаемъ къ особымъ приемамъ, чтобы при помощи другихъ органовъ чувствъ замѣнить недостающій намъ органъ электрическаго ощущенія. Бываютъ и такіе случаи, когда дѣйствіе тѣлъ на наши органы чувствъ настолько слабо, что мы его совершенно не замѣчаемъ. Въ такомъ случаѣ приходится

или усиливать это дѣйствіе, напримѣръ, микрофономъ (см. ниже) въ случаѣ очень слабыхъ звуковъ, или опять-таки прибѣгать къ посредству другихъ тѣлъ. Для примѣра можно указать на звѣздныя карты. На нихъ отмѣчены многія тысячи звѣздъ, свѣтъ которыхъ настолько слабъ, что совершенно не дѣйствуетъ на наши глаза, и мы ихъ поэтому не видимъ. Для того, чтобы обнаружить ихъ, фотографируютъ известную часть неба, направляя на нее астрономическую трубу съ фотографическимъ аппаратомъ; это фотографированіе продолжается очень долгое время (иногда нѣсколько часовъ), и слабый свѣтъ звѣздъ, невидимыхъ даже въ сильныя трубы, мало-по-малу дѣйствуетъ на свѣточувствительную пластинку; пластинку потомъ проявляютъ, фиксируютъ и т. д. и получаютъ часть карты звѣзднаго неба, на которой отпечатываются не только видимыя звѣзды, но и эти невидимыя даже въ трубы звѣздочки. Такимъ образомъ, фотографическая пластинка является средствомъ для обнаруженія такихъ тѣлъ (собственно говоря, свойствъ тѣлъ), которые сами по себѣ не оказываютъ дѣйствія на наши органы чувствъ. Къ такимъ вспомогательнымъ средствамъ прибѣгаютъ очень часто; въ особенности бываетъ полезно пользоваться приемами, позволяющими намъ замѣнять *зрительными* ощущеніями всё другія. Приведемъ примѣръ такого рода. Замѣчено, что всѣ кислоты на вкусъ тѣла обладаютъ способностью измѣнять синій цвѣтъ лакмусной бумаги <sup>1)</sup> въ красный. Уксусъ, лимонный сокъ, скисшее молоко, кислое вино, винная кислота и т. д. и т. д. всѣ они дѣлаютъ синюю лакмусную бумажку красной. Поэтому для того, чтобы рѣшить, кислаго ли вкуса тѣло или нѣтъ, достаточно опустить въ его растворъ (нерастворимыя тѣла, какъ стекло или песокъ, безвкусны) синюю лакмусную бу-

<sup>1)</sup> *Лакмус*—особенная спнефіолетовая краска; добывается изъ различныхъ красильныхъ лишайниковъ, растущихъ по скаламъ въ тепломъ климатѣ.

магу: если она покрасивѣетъ, то тѣло вкуса кислаго. Удобство такой замѣны чувства вкуса.— зрѣніемъ понятно безъ всякихъ объясненій, такъ какъ вкусовые ощущенія очень сложны и связаны съ обонятельными (при сильномъ насморкѣ молоко и чуть подслащенная вода одного вкуса) и даже съ зрительными: красное и бѣлое вино почти не отличается по вкусу, если ихъ пробовать одно за другимъ, закрывши глаза.

Такимъ образомъ, непосредственно или при помощи другихъ тѣлъ всѣ тѣла оказываютъ на наши органы чувствъ извѣстное дѣйствіе, и по этому дѣйствию мы можемъ судить о различныхъ ихъ свойствахъ. Изучая ближе эти свойства, мы сейчасъ же обращаемъ вниманіе на такого рода фактъ: есть свойства, которыя всегда присущи какому-нибудь тѣлу, такъ что мы даже и представить себѣ не можемъ его безъ этихъ свойствъ, другія же свойства, наоборотъ, по временамъ только проявляются въ тѣлахъ или могутъ быть выражены болѣе или менѣе рѣзко. Напримеръ, желѣзо всегда притягивается магнитомъ, мѣлъ—всегда растворяется въ уксусной кислотѣ и шипитъ при этомъ; съ другой стороны, сургучная палочка можетъ обнаруживать электрическія свойства или же нѣтъ, вода можетъ быть горячею или холодною и т. п.

Разъ только наталкиваешься на такія „временныя“ или различныя по степени свойства, то сейчасъ же начинаешь соображать, отчего бы это было. Легче всего представить себѣ все это, если сдѣлать предположеніе, что измѣненіе свойствъ (и сами свойства, конечно,) зависятъ отъ измѣненія чего-то, связаннаго съ веществомъ; это „что-то“ мы называемъ *энергіей* и считаемъ ею всякую механическую работу или все то, что можетъ быть переведено въ работу. Что такое *механическая работа*, для насъ вѣсѣтъ очень ясно, потому что какую бы мы работу ни совершали, трудъ нашъ всегда сводится къ передвиженію или поднятію груза на извѣстное пространство. Гребемъ ли мы веслами, пи-



лимъ ли дрова, поднимаемъ ли ведро съ водой, рѣжемъ ли ножомъ что-нибудь,—вездѣ и всюду дѣло сведется къ тому, что мы дѣлаемъ усилие, которое могло бы поднять или передвинуть грузъ на извѣстное разстояніе.

Разъ мы условимся подразумѣвать подъ энергіей именно работу или все то, что переходитъ въ работу, мы сразу увидимъ, что измѣненіе свойствъ зависитъ отъ измѣненія количества или качества энергіи въ тѣлахъ. Несомѣнно, что камень, кетящій съ высоты, и камень, спокойно лежащій на землѣ, отличны по свойствамъ: одинъ изъ нихъ можетъ разбить толстую доску, другой этого не можетъ сдѣлать. Понятно, съ другой стороны, что падающій камень обладаетъ большимъ запасомъ энергіи: стоитъ только передъ тѣмъ, какъ бросить его, привязать къ нему бечевку, перебросить ее черезъ блокъ, а къ другому концу привязать грузикъ; тогда камень при паденіи подниметъ грузикъ и такимъ образомъ совершитъ работу, чего не можетъ совершить камень, лежащій на землѣ. Точно такъ же намагниченная полоска стали можетъ притянуть къ себѣ (сверху внизъ) кусочекъ желѣза, а электризованная стеклянная палочка (натертая кожей, покрытой оловянной амальгамой) притянетъ соломинки или кусочки папирсной бумаги; оба эти тѣла не въ состояніи воспроизвести этой работы до намагничиванія или до натиранія кожей. Кусокъ угля и окружающій его воздухъ несутъ въ себѣ очень большой запасъ энергіи: стоитъ только зажечь уголь (безъ воздуха горѣнія не будетъ), и тогда тепломъ, выделяющимся при горѣніи, можно превратить воду въ паръ большой упругости, паръ заставить двигать поршень машины, которую въ свою очередь можно заставить поднимать грузы, пилить, рѣзать и т. д., т.-е. совершать въ разныхъ видахъ механическую работу.

Точно такъ же можно убѣдиться въ томъ, что и свѣтъ можетъ совершить механическую работу: стоитъ только устроить такъ, чтобы свѣтовые лучи, попадая на какое-

нибудь тѣло, задерживались имъ; это сдѣлать очень легко, такъ какъ отъ вычерненнаго сажей предмета не отражаются свѣтовые лучи. Тогда мы замѣтимъ, что вычерненное тѣло нагрѣвается, а разъ есть нагрѣваніе, то уже само собою понятно, что можетъ быть получена и механическая работа. Обыкновенно многіе говорятъ, что нагрѣваніе въ этомъ случаѣ слишкомъ слабое, такъ что *никакой* работы при его помощи не получишь. Конечно, работы большой не получается, но вѣдь и запасъ энергіи здѣсь ничтожный. Разъ дѣло идетъ о работѣ вообще, то надо считать, что на поднятіе пушинки или пылинки на сотую долю миллиметра отъ земли затрачивается опредѣленное, хотя и до чрезвычайности малое количество работы. Примѣръ непосредственнаго превращенія теплоты въ движеніе мы можемъ видѣть въ *радиометрѣ* Крукса. Тепловые лучи падаютъ на крылышки изъ слюды, вычерненные съ одной стороны. Крылышки эти (см. рис. 1) вращаются на оси внутри сосуда, изъ котораго выкачанъ почти весь воздухъ. Поглощенная теплота передается оставшемуся воздуху, при чемъ вслѣдствіе его отталкиванія развивается движеніе по направленію къ свѣтлой сторонѣ крылышекъ. Проф. П. Н. Лебедевъ, увеличивая размѣръ сосуда и доводя количество воздуха въ немъ до ничтожнѣйшей величины, получилъ приборъ, въ которомъ *свѣтовые лучи* сообщали крыльямъ движеніе, т.-е. совершали нѣкоторую работу—примѣръ прямого перехода лучистой энергіи въ механическую работу. На приведенныхъ примѣрахъ, съ одной стороны, можно убѣдиться и въ томъ, что различные виды энергіи (химическая, тепловая, лучистая, механическая, электрическая и т. д.), дѣйствительно, могутъ быть сведены къ способности производить работу—правда, иной разъ и очень сложнымъ обход-

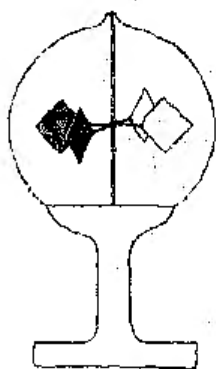


Рис. 1.

нымъ путемъ; мы можемъ убѣдиться въ томъ, что всѣ измѣненія свойствъ могутъ быть приведены или къ появленію въ тѣлахъ новыхъ видовъ энергіи (намагничиваніе желѣза или стали), или къ измѣненію ея количества (нагрѣваніе холодной воды, напрымѣръ). Такимъ образомъ, можно допустить, что вещество или матерія, изъ которой состоятъ тѣла, является носителемъ различнаго количества разнаго вида энергіи; тогда у насъ составитъ очень опредѣленное представленіе о томъ, въ чемъ именно состоятъ измѣненія *тѣлъ* или, вообще говоря, что совершается, когда происходитъ какое-либо явленіе: при всякомъ явленіи, значить, происходитъ измѣненіе количества или качества энергіи въ *тѣлѣ*, благодаря чему оно и преобразуется—временныя или постоянныя новыя свойства.

Но вѣдь *тѣло* — не что иное, какъ часть пространства, выполненная *веществомъ*. Объ этомъ веществѣ мы опять-таки судимъ по его свойствамъ, а свойства въ свою очередь зависятъ отъ качества или количества различныхъ видовъ энергіи. Выходить, значить, что всѣ измѣненія, какія только могутъ произойти съ тѣлами, состоятъ въ измѣненіяхъ качества и количества энергіи въ опредѣленныхъ частяхъ пространства. Слѣдовательно, изученіе всѣхъ свойствъ тѣлъ сводится къ изученію „энергій и ея превращеній“.

## ГЛАВА I.

### Общія свойства тѣлъ.

Познакомимся теперь иѣсколько подробнѣе съ такъ называемыми общими свойствами физическихъ тѣлъ. Для удобства будемъ изучать не все тѣла сразу, а раздѣлимъ ихъ на три большія группы по тѣмъ состояніямъ, въ которыхъ они встрѣчаются въ природѣ, а именно, будемъ разсматривать отдѣльно тѣла твердыя, жидкія (капельно-жидкія, какъ иногда говорятъ) и газообразныя. Начнемъ съ твердыхъ тѣлъ.

Всѣмъ намъ хорошо извѣстно, что мы считаемъ *твердыми* тѣлами тѣ, которыя имѣютъ опредѣленную форму, оказываютъ значительное сопротивленіе при разъединеніи ихъ частей и, обратно, разъ ихъ дѣлостъ нарушена, разъединенныя части снова соединяются съ трудомъ или вовсе не соединяются. Что значитъ „имѣютъ опредѣленную форму“? Вѣдь мы можемъ изъ камня, дерева или каменной соли выточить *какой угодно* формы предметъ. Правда, эта искусственно приданная тѣлу форма сохраняется неопредѣленно долгое время, но дѣло все же не въ этомъ. Возьмемъ какое-нибудь однородное тѣло, напр., каменную соль и выточимъ изъ нея шаръ. Стоитъ только ударить по этому шару ножомъ, какъ онъ раскалывается, и мѣсто раскола получается ровное и гладкое, такъ что мы сразу видимъ, что это дѣло не простого случая. Ударимъ ножомъ въ другомъ направленіи, получается ровная и гладкая плоскость, подъ прямымъ угломъ къ первой. Значитъ, свойства камен-

пой соли, несмотря на кажущуюся однородность, не одинаковы по всемъ направленіямъ. Такія тѣла, у которыхъ свойства различны по разнымъ направленіямъ, называются *кристаллами*, и всякое химически однородное твердое тѣло — кристаллъ. Ближайшимъ образомъ эта неоднородность проявляется въ способности образовывать плоскости и углы разной величины и формы по различнымъ направленіямъ, такъ что кристаллическія тѣла обыкновенно представляютъ многогранники, ограниченные *естественными* правильными плоскостями. При этомъ и другія свойства по разнымъ направленіямъ различны: такъ, напр., если пропустить лучъ свѣта чрезъ кристаллы известковаго шпата (кальцита), то по одному направленію вмѣсто одного луча получается два, а по другому — лучъ свѣта проходитъ, не раздвояясь. Сюда легко расщепляется на тончайшіе листочки, и въ то же время оказываетъ большое сопротивленіе разрыву или разлому въ плоскостяхъ, перпендикулярныхъ листочкамъ. Если же тѣло химически неоднородно, какъ напр., обыкновенное стекло, состоящее изъ множества отдѣльныхъ сложныхъ тѣлъ, то обыкновенно не бываетъ различія свойствъ по разнымъ направленіямъ: шаръ изъ стекла отъ удара раскалывается неправильными и неопредѣленными трещинами, лучъ свѣта проходитъ въ стеклѣ одинаково, съ какой бы стороны шара мы бы ни пропускали его, и т. д. Это различіе свойствъ по разнымъ направленіямъ очень характерно для всякаго *твердаго* тѣла, если оно химически однородно. Другое характерное свойство твердыхъ тѣлъ заключается въ ихъ неспособности смѣшиваться: если взять тончайшіе порошки сурьки (краснаго цвѣта), мѣднаго купороса (голубаго) и мѣлу (бѣлаго), то мы можемъ насыпать ихъ въ трубочки одинъ сверхъ другого въ какомъ угодно порядкѣ, и если не придавать этимъ порошкамъ движенія (не трясти ихъ, то приданный искусственно порядокъ будетъ сохраняться сколько угодно времени. Даже если и перемѣнять ихъ (тряса трубочки), такъ что

на видъ получится совершенно однообразная масса, все же подъ микроскопомъ видно, что частички или порошинки различныхъ красокъ лежатъ отдѣльно другъ отъ друга.

Изучая твердыя тѣла при помощи нашихъ органовъ чувствъ, можно замѣтить, что удѣльные вѣса твердыхъ тѣлъ (вѣсъ единицы объема) могутъ быть очень различны, какъ видно изъ прилагаемой таблицы I. Что касается цвѣта твердыхъ тѣлъ, то очень многія, если не всѣ, изъ нихъ обладаютъ собственнымъ цвѣтомъ, зависящимъ отъ свойствъ самаго тѣла: напр., красный цвѣтъ мѣди, синій—борлинской лазури, желтый — охры, бѣлый—мѣла и т. д., такъ что окрашенные другимъ тѣломъ (по всей массѣ) твердыя тѣла встрѣчаются сравнительно рѣже тѣлъ, обладающихъ своей собственной окраской. Замѣтимъ еще, что очень многія твердыя тѣла при повышеніи температуры могутъ обращаться въ жидкое состояніе. Конечно, степень нагреванія, необходимая для этого (температура плавленія), можетъ измѣняться для различныхъ тѣлъ въ очень широкихъ предѣлахъ, какъ это видно изъ таблицы второй.

При этомъ превращеніи твердаго тѣла въ жидкое объемъ можетъ уменьшаться или увеличиваться: ледъ, плавясь, уменьшается въ объемѣ, то же дѣлается съ желѣзомъ или чугуномъ, но въ большинствѣ все-таки случаевъ при плавленіи происходитъ увеличеніе объема: достаточно взглянуть на застывшій воскъ или параффинъ, чтобы составить себѣ ясное представленіе объ этомъ<sup>1)</sup>.

---

1) Надо замѣтить, что далеко не всѣ тѣла можно расплавить: напр., дерево или бумага не могутъ быть расплавлены, такъ какъ въ какихъ бы мы условіяхъ ихъ не нагревали, всегда происходитъ очень сильное разлѣненіе дерева: оно буршетъ, чернѣетъ, обугливается, наконецъ, изъ него выдѣляются разныя газы и жидкости, но плавленія мы не замѣчаемъ ни малѣйшаго слѣда. Уголь, напр., тоже не плавится; но тутъ дѣло заключается въ томъ, что мы, повидимому, не можемъ достигнуть надлежащей степени жара, необходимой для плавленія угля, тѣмъ болѣе, что уголь раньше плавленія начинаетъ замѣтно обращаться въ паръ.

Если мы теперь перейдемъ къ изученію *жидкостей*, то замѣтимъ прежде всего, что эти тѣла не обладаютъ своей собственной формой, а принимаютъ форму сосуда, въ который онѣ налиты. Раздѣленіе жидкости на отдѣльныя части не представляетъ ни малѣйшаго труда, но зато двѣ части жидкости тотчасъ же сливаются въ одно цѣлое, разъ только мы заставимъ ихъ соприкоснуться другъ съ другомъ. Однако и въ жидкостяхъ можно наблюдать кое-что такое, что указываетъ на нѣкоторую связь ихъ частей; въ самомъ дѣлѣ, во всякомъ болѣе или менѣе широкомъ сосудѣ жидкость имѣетъ ровную горизонтальную поверхность, въ узкихъ трубочкахъ эта поверхность или выпукла (ртуть въ стеклянной трубочкѣ) (рис. 2), или вогнута (вода въ стекл.

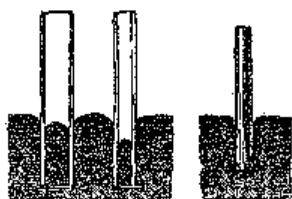


Рис. 2.

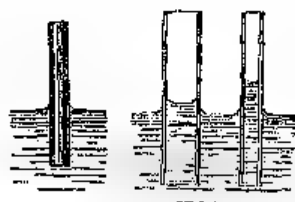


Рис. 3

трубочкѣ) (рис. 3). Кромѣ того, всякій, кому приходилось наблюдать за появленіемъ парохода на горизонтѣ, знаетъ хорошо, что вода морей представляетъ шарообразную поверхность. Если мы станемъ разсматривать отдѣльныя капли, напр., ртути на фарфоров. тарелкѣ, воды на масляной или вощеной бумагѣ, то легко убѣдимся, что онѣ шарообразны. Можно получить довольно большіе шары изъ масла (оливковаго, напр.) такимъ образомъ: масло плаваетъ на водѣ и тонетъ въ спиртѣ, значить, можно составить такую смѣсь воды и спирта, въ которой масло будетъ держаться на какой угодно глубинѣ. Вливалъ въ такую смѣсь масло черезъ воронку, можно получить довольно большіе шары. Конечно, лучше дѣлать это въ сосудахъ съ плоскими стѣнками, чтобы не исказилось изображеніе капель.

Всѣ эти явленія происходятъ оттого, что жидкость стремится принять возможно меньшую поверхность, а такъ какъ изъ всѣхъ поверхностей при томъ же объемѣ, конечно, самая малая—шаровая, то жидкость и принимаетъ форму шара. Другое любопытное свойство жидкостей (это относится и къ твердымъ тѣламъ: напр. іодъ и камфора замѣтно испаряются при комнатной температурѣ) заключается въ томъ, что при каждой температурѣ необходимо опредѣленное давленіе, чтобы жидкость оставалась жидкостью; не будетъ этого давленія, и она постепенно будетъ превращаться въ паръ. Убѣдиться въ этомъ очень легко: стоитъ взять длинную (около 100 сантиметровъ) трубку, наполнить ее цѣликомъ ртутью, зажать пальцемъ и опрокинуть въ чашечку съ ртутью. Когда мы отпустимъ палецъ, то ртуть опустится въ среднемъ сантиметровъ до 75. Надъ ртутью образовалась пустота. Станемъ впускать понемногу въ трубку обыкновенный эфиръ; мы видимъ, что уровень ртути все понижается и понижается, но жидкая эфира не видно; наконецъ, достигаемъ опредѣленнаго давленія пара эфира въ трубкѣ, и въ ней появляется жидкій эфиръ. При попыткахъ смѣшенія жидкостей мы убѣждаемся, что нѣкоторые изъ нихъ смѣшиваются во всѣхъ пропорціяхъ (вода и спиртъ, напримѣръ), другія только въ опредѣленныхъ отношеніяхъ (напр., эфиръ и вода) и третьи, наконецъ, совсѣмъ неспособны смѣшиваться другъ съ другомъ (напр., ртуть и вода). Такъ какъ всѣа равныхъ объемовъ жидкостей очень разнообразны (смотри таблицу III), то легко можетъ случиться, что къ первому и третьему роду жидкостей относятся и такія, которые сильно разнятся по удѣльному вѣсу. Тогда наблюдаются слѣдующія явленія: если жидкости не способны смѣшиваться другъ съ другомъ, то мы можемъ наливать ихъ (отличіе отъ твердыхъ тѣлъ) другъ на друга въ какомъ угодно порядкѣ, и все-таки самая тяжелая расположится ниже всѣхъ, а самая легкая—выше всѣхъ. Можно даже трясти и болтать ихъ сколько угодно,



не стоит имъ только постоять спокойно, какъ онѣ раздѣлятся въ указанномъ порядкѣ. Этотъ опытъ хорошо сдѣлать со ртутью, водой и масломъ. Но если двѣ жидкости способны смѣшиваться, то тутъ получается картина такого рода: если налить болѣе тяжелую изъ нихъ на дно (напр., крѣпкій растворъ мѣднаго купороса) узкой трубки, а сверху осторожно налить чистой воды, то мы можемъ избѣгать самыхъ ничтожныхъ толчковъ и сотрясеній, держать такую трубку въ помѣщеніи, гдѣ не происходитъ никакихъ колебаній температуры, и все-таки рѣзкая граница сѣняго (въ нашемъ примѣрѣ) и безцвѣтнаго слоевъ будетъ постепенно исчезать, и въ концѣ-концовъ, можетъ-быть, черезъ нѣсколько мѣсяцевъ, весь растворъ будетъ одинаковаго голубого цвѣта. И это явленіе (такъ наз. диффузія — взаимное проникновеніе) наблюдается на всѣхъ жидкостяхъ, способныхъ смѣшиваться хотя бы отчасти другъ съ другомъ. Въ послѣднемъ случаѣ это непрерывное движеніе тяжелыхъ частей жидкости вверхъ прекращается, когда достигается полное, какъ говорится, насыщеніе, т.-е. когда одна жидкость перестаетъ растворяться въ другой (при извѣстномъ содержаніи ея въ растворѣ). Въ заключеніе можно прибавить, что *цвѣтныхъ* жидкостей очень мало. Изъ болѣе извѣстныхъ можно назвать темнокрасный бромъ. Цвѣта большей части жидкостей зависятъ отъ цвѣта раствореннаго въ нихъ твердаго тѣла: напр., растворъ голубого мѣднаго купороса въ безцвѣтной водѣ — голубого цвѣта. Для полноты можно указать на такіе случаи, когда одно и то же тѣло, растворяясь въ двухъ безцвѣтныхъ жидкостяхъ, даетъ разноокрашенные растворы. Напр., растворъ іода въ безцвѣтномъ сѣроуглеродѣ — краснаго фіолетоваго цвѣта, а въ безцвѣтномъ бензолѣ — бураго; хлористый кобальтъ — въ водѣ растворяется съ розовымъ цвѣтомъ, а въ спиртѣ — съ синимъ и т. д. Конечно, тутъ дѣло нѣсколько сложнее простаго растворенія твердаго тѣла въ жидкости.

Перейдемъ теперь къ описанію свойствъ *наоборотныхъ* тѣлъ или *газовъ*. Прежде всего мы обратимъ вниманіе на то, что газъ, помѣщенный въ сосудъ, принимаетъ его націю и такимъ образомъ принимаетъ форму сосуда. Тутъ даже нѣтъ той рѣзкой границы между двумя газами, какую мы наблюдали между двумя жидкостями. Можно, правда, помѣстить тяжелый газъ въ открытый сосудъ и убѣдиться въ томъ, что свойства газа отличаются отъ свойствъ воздуха, но никакой *рѣзкой* границы между воздухомъ и этимъ газомъ (хлоромъ, углекислотой) мы не найдемъ: одинъ газъ постепенно замѣняется другимъ. Далѣе для насъ важно еще и то, что одна часть газа чрезвычайно легко отдѣляется отъ другой. Въ свою очередь отдѣленные части легко сливаются, разъ имъ только предоставлена возможность слиться. При этомъ оказывается, что *нѣтъ* *наклонъ* пары *изавъ*, *которые* были бы не способны сливаться другъ съ другомъ. Бертолле производилъ такой опытъ: онъ бралъ два большихъ шара, соединенныхъ довольно узкой трубкой съ краномъ (см. рис. 4). Нижний шаръ наполнялъ онъ углекислотой, а верхній — водородомъ, который въ 22 раза легче углекислоты; приборъ помѣщалъ въ погребъ, гдѣ температура почти совсѣмъ не измѣнялась, не было никакихъ толчковъ и сотрясеній и т. д. — словомъ, всего того, что могло бы помочь газамъ смѣшиваться. Когда открывали кранъ, то чрезъ нѣкоторое время оказывалось, что углекислота и водородъ равномерно распределены въ сосудахъ: легкий водородъ, *такъ* *оказалъ*, опустился внизъ, а тяжелая углекислота *поднявшись* *наверхъ*. Этотъ опытъ по-

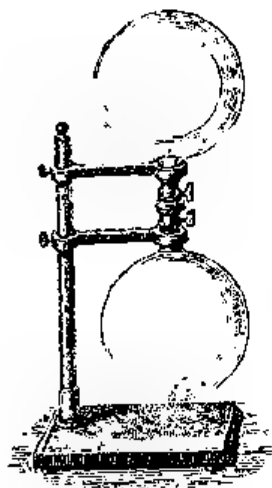


Рис. 4.

вторяли съ различными парами газовъ и пришли именно къ заключенію, о которомъ только что было сказано. Изъ этого факта мы сейчасъ же выводимъ важное заключеніе, а именно: для того, чтобы сохранить газъ, его надо собирать въ закрытый со всѣхъ сторонъ сосудъ. Чаще всего это дѣлають такъ: наполняютъ цилиндрическій сосудъ водою до краевъ, закрываютъ припаянные края цилиндра стекляннымъ кружкомъ и опрокидываютъ въ водяную ванну. Потомъ подъ отверстіе цилиндра пропускаютъ газъ, который пузырьками проходитъ черезъ воду и подымается вверхъ, вытѣсняя постепенно воду (см. рис. 5).

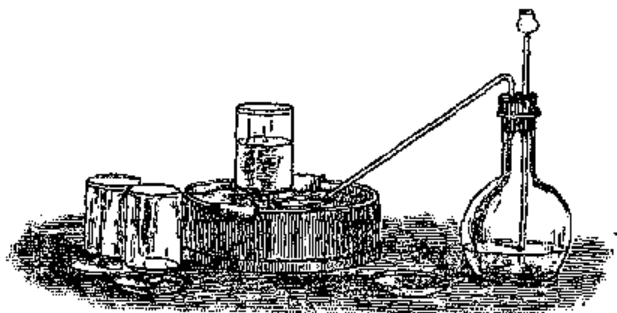


Рис. 5.

Если газъ растворяется въ водѣ, то его собирають надъ ртутью, поступая совершенно такъ, какъ и при водѣ.

Стремленіе газа занять весь объемъ сосуда, въ которомъ онъ заключенъ, можетъ быть выражено еще и такимъ образомъ: газъ стремится занять возможно большій объемъ. Поэтому для того, чтобы удержать его въ опредѣленномъ объемѣ, приходится препятствовать этому стремленію, оказывая извѣстное *давленіе* на газъ. Если взять цилиндръ съ поршнемъ, на верхнемъ концѣ котораго придѣлана чашка для грузовъ, то загружая больше и больше чашку, мы заставимъ газъ занимать все меньшій и меньшій объемъ, т.-е. сжимаемъ газъ (см. рис. 6). Если опытъ этотъ производить въ длинной трубкѣ, оканчивающейся подковообразнымъ из-

гибомъ, въ короткое запаянное колѣно которой введенъ воздухъ или другой какой-нибудь газъ, и вмѣсто грузовъ пользоваться ртутью (чѣмъ больше налито ртути, тѣмъ больше давленіе), то можно даже *количественно* опредѣлить, какъ сжимаются газы отъ увеличенія давленія. Оказалось, что всѣ газы (при достаточно высокой температурѣ) сжимаются прямо пропорціонально давленію, т.-е. объемы ихъ давленію обратно пропорціональны. Если при давленіи въ 1 килограммъ на 1 кв. сантиметръ газъ занимаетъ объемъ въ 1000 кв. сант., то при давленіи на ту же поверхность въ 2 килограмма онъ займетъ только 500 кв. сант. и т. д. За-

мѣчательно то обстоятельство, что какъ бы сильно мы не сжали газъ (выше иѣкоторой опредѣленной для каждаго газа температуры такъ называемой критической — иначе газъ сгустится въ жидкость), то онъ сохранилъ свойства газа и при уменьшеніи давленія снова займетъ прежній большой объемъ, т.-е., другими словами,

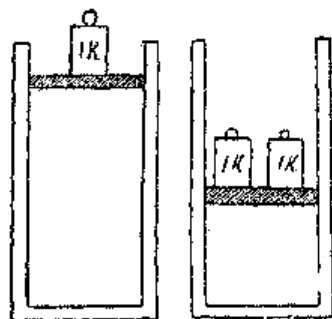


Рис. 6.

газы обладаютъ весьма большою упругостью — больше всѣхъ другихъ извѣстныхъ намъ тѣлъ. Изъ всего этого слѣдуетъ, что когда говорится объ опредѣленномъ объемѣ, занимаемомъ извѣстнымъ количествомъ какого-нибудь газа (при извѣстной температурѣ), то при этомъ всегда должно быть показано и давленіе, подъ которымъ находится газъ. Нормальнымъ давленіемъ (одна атмосфера) считается 1033,3 гр. на 1 кв. сант. (16 фунтовъ на кв. дюймъ). Что касается другихъ признаковъ или свойствъ газовъ, то они таковы же, какъ у твердыхъ или жидкихъ тѣлъ. Такъ, напр., относительный вѣсъ (вѣсъ единицы объема) газовъ весьма различенъ. На первый взглядъ кажется страннымъ, что воздухъ имѣетъ вѣсъ, но достаточно вспомнить катастрофу 16 іюля 1904

года, когда ураганъ опрокидывалъ каменные зданія, чтобы сейчасъ же согласиться съ тѣмъ, что только вѣсомое кривящееся тѣло могло причинить такія опустошенія. Если взять стеклянный шаръ емкостью въ 1000 куб. сант. съ хорошо запирающимся краномъ, подвѣсить его къ чашкѣ чувствительныхъ вѣсовъ, уравновѣсить гирями, а затѣмъ выкачать насосомъ изъ шара воздухъ и опять взвѣсить (закрывши предварительно, конечно, кранъ), то мы замѣтимъ, что намъ придется снять съ чашки почти 1,25 гр., чтобы вѣсы остались въ равновѣсіи. Значитъ, 1000 об. воздуха вѣсятъ около 1,3 грамма. Для того, чтобы убѣдиться въ томъ, что есть газы болѣе тяжелые, чѣмъ воздухъ, можно сдѣлать такой опытъ: на чашку обыкновенныхъ Робервальевскихъ вѣсовъ ставимъ тонкій химическій стаканъ и уравновѣшиваемъ его гирьками или пескомъ. Для того, чтобы лучше замѣтить отклоненіе вѣсовъ, надѣнемъ на стрѣлку длинную соломину, а свади къ указателю привяжемъ другую. Соломины при равновѣсіи вѣсовъ стоятъ одна за другой. Положимъ въ бутылку нѣсколько кусочковъ мѣлу и нальемъ въ нее немного уксуса. Шипѣніе показываетъ, что выдѣляется газъ. Будемъ держать бутылку надъ стаканомъ такъ, какъ будто бы мы что-нибудь изъ нея выливаемъ. Тяжелый газъ (углекислота), дѣйствительно, выльется изъ бутылки и наполнитъ стаканъ. Указатель на стрѣлкѣ сейчасъ же передвинется въ сторону стакана. Но стоитъ только оставить стаканъ на нѣкоторое время на вѣсахъ, какъ углекислота смѣшается съ воздухомъ, и вѣсы снова будутъ въ равновѣсіи. Такимъ образомъ, мы убѣдились въ томъ, что углекислота въ самомъ дѣлѣ тяжелѣе воздуха, и ее можно выливать въ сосуды, какъ жидкость. Понятно, что газы, болѣе легкіе, чѣмъ воздухъ, можно собирать въ сосуды, опрокинутые вверхъ дномъ. Но сохранять и гѣ и другіе въ открытыхъ сосудахъ сколько-нибудь продолжительное время нельзя: собранные газы диффундируютъ въ воздухъ и въ короткое время въ на-

нихъ сосудахъ ничего, кромѣ воздуха, не окажется. Насколько можетъ отличаться въсь равныхъ объемовъ различныхъ газовъ (понятно при одномъ давленіи и одной и той же температурѣ), показываетъ прилагаемая здѣсь таблица (см. таблицу IV). Большая часть извѣстныхъ намъ газовъ безцвѣтны, но, однакоже, мы знаемъ зеленовато-желтый хлоръ, красно-бурую двуокись азота, ярко-желтый діазометанъ и нѣкоторые другіе. Убѣдиться въ существованіи двухъ первыхъ названныхъ газовъ очень легко. Если въ бутылку бѣлаго стекла насыпать осторожно (лучше всего по бумажной трубочкѣ, чтобы не запачкать стѣнокъ) немножко *блмилной извести* и облить ее *соляной кислотой*, то бутылка наполнится зеленовато-желтымъ *хлоромъ*. Если же въ бутылку (другую, конечно,) насыпать немного *мѣдныхъ стружекъ* и облить ихъ *азотной кислотой*, то бутылка сначала наполнится красно-бурою двуокисью азота, потомъ содержимое ее (газъ) мало-по-малу обезцвѣтится и только у края видно будетъ выдѣленіе буро-краснаго газа. Во избѣжаніе недоразумѣній подчеркнемъ, что оба опыта надо *дѣлать съ весьма небольшими количествами вещества* и непременно *подъ открытымъ небомъ или около горящей печки*, такъ какъ оба газа очень *удушливы и ядовиты*. Какъ и твердыя тѣла, нѣкоторые газы могутъ растворяться въ водѣ или въ другихъ жидкостяхъ, при чемъ очень часто такіе растворы имѣютъ цвѣтъ, вкусъ и запахъ растворенныхъ газовъ. Какъ примѣръ, можно привести хлорную воду, которая имѣетъ зеленовато-желтый цвѣтъ и запахъ хлора, нашатырный спиртъ и т. д.

Такимъ образомъ, мы познакомились со свойствами твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ тѣлъ въ отдѣльности. Теперь слѣдовало бы упомянуть о нѣкоторыхъ ихъ общихъ свойствахъ. Что каждое тѣло занимаетъ опредѣленную часть (хотя бы и очень маленькую) пространства и что тамъ, гдѣ находится уже одно тѣло, не можетъ помѣститься другое, можно думать, хорошо извѣстно каждому: достаточно

припомнить простой опыт съ погруженіемъ стакана вверхъ дномъ въ воду или выдѣленіе пузырьковъ воздуха изъ стакана, когда мы надѣваемъ его подъ водой на стоящую надъ гирю (см. рис. 7).

Съ другой стороны, уменьшеніе объема тѣлъ (твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ) отъ охлажденія или сжатія, наблюдаемое при смѣшиваніи нѣкоторыхъ жидкостей, хотя бы спирта съ водой <sup>1)</sup>, указываетъ намъ на то, что пространство не сплошь заполнено матеріей, и частички „непроницаемой матеріи“ раздѣлены „пустыми“ промежутками. Конечно, мы говоримъ о мельчайшихъ промежуткахъ между частицами, а не о тѣхъ болѣе крупныхъ порахъ, которые позволяютъ намъ фильтровать мутныя жидкости чрезъ бумагу, продавливать силой атмосфернаго давленія ртуть чрезъ дерево или кожу и т. д. Всѣмъ намъ, да и болѣе, извѣстна необычайная дѣлимость вѣсогого вещества: расплющиваніе золота въ тончайшіе листики, вытягиваніе платиновыхъ проволочекъ во много разъ тоньше паутинокъ, постепенное систематическое разбавленіе раствора окрашенной жидкости <sup>2)</sup> и, наконецъ, распредѣленіе малаго количества какого-ни-

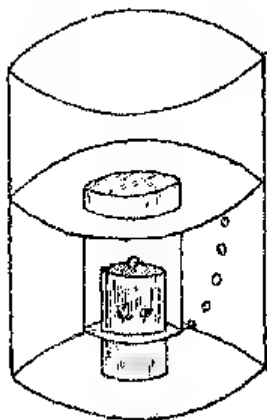


Рис. 7.

какого-либо вещества, постепенное систематическое разбавленіе раствора окрашенной жидкости <sup>2)</sup> и, наконецъ, распредѣленіе малаго количества какого-ни-

<sup>1)</sup> Въ самомъ дѣлѣ, если взять длинную и узкую стеклянную трубку, наполнить ее до покояни водой, а поверхъ воды налить осторожно крѣпкаго спирта почти доверху, откѣтитъ бумажкой или резиновымъ колечкомъ уровень, закупорить пробочкой и перемишать обѣ жидкости, то мы замѣтимъ, что уровень жидкости въ трубкѣ довольно сильно повысится, хотя смѣсь и разогрѣется.

<sup>2)</sup> Возьмемъ, напр., *одну миллиграммъ* (около  $\frac{1}{5000}$  доли золотника) фуксина, растворимъ его въ спиртѣ и прибавимъ воды до 100 куб. сант. Въ 1 куб. сант. заключается 0,00001 грамма фуксина, но, тѣмъ не

будь пахучаго газа въ большой комнатѣ и много другихъ подобныхъ явленій, — это все слишкомъ хорошо извѣстно, чтобы стоило на нихъ подробно останавливаться. Всѣ физическія тѣла обладаютъ замѣчательнымъ свойствомъ: всѣ они притягиваются другъ къ другу, при чемъ это относится не только къ тѣламъ, находящимся на данной поверхности, но и къ такимъ отдаленнымъ отъ насъ, какъ, напр., Солнце, Луна, Меркурій, Юпитеръ, Марсъ, Венера и другія планеты. Отъ этого притяженія физическихъ тѣлъ зависитъ то давленіе, которое они оказываютъ на горизонтальную подставку и которое мы называемъ *тѣснымъ* тѣлъ. Значитъ, вѣсъ тѣлъ зависитъ отъ притяженія физическаго тѣла другимъ физическимъ тѣломъ-землей. Это притяженіе зависитъ отъ разстоянія между тѣлами и убываетъ между парой тѣлъ пропорціонально квадрату разстоянія, т.-е. при увеличеніи разстоянія въ 2, 3, 4, 5 и т. д. разъ это притяженіе становится въ 4, 5, 16, 25... разъ меньше. Конечно, если принять во вниманіе величину земнаго радіуса (6000 километровъ круглымъ тѣломъ), то наши наблюдаемыя измѣненія разстоянія по направленію вверхъ (самая высокая гора около 9 километровъ), будутъ слишкомъ ничтожны <sup>1)</sup>, такъ что, перемѣщая гири вверхъ и внизъ обыкновенныхъ вѣсовъ, мы не замѣтимъ измѣненія вѣса, но на точнѣйшихъ вѣсахъ (напр., въ Палатѣ мѣръ и вѣсовъ въ С.-Петербургѣ) можно замѣтить, что гиря въ 1 килограммъ, лежащая на чашкѣ

меньше, растворъ будетъ густого краснаго цвѣта, 10 куб. сант. раствора выльешь въ цилиндръ и прибавишь воды до 1000 куб. сант. Въ одномъ куб. сант. ярко-розоваго раствора заключается лишь всего 0,0000001 гр. нашего вещества. Повторяемъ эту процедуру еще разъ и, несмотря на то, что въ 1 куб. сантиметрѣ заключается всего 0,000000001 гр., т.-е. *одна миллиардная* часть золотиска фуксина, розовый растворъ очень резко отличается по цвѣту отъ чистой воды.

1) Если не принимать въ расчетъ измѣненія центробѣжной силы съ измѣненіемъ высоты, то можно вычислить, что гиря, вѣсящая у уровня моря 1 килограммъ (1000 граммовъ), на вершинѣ Гауризанкара будетъ всего 997 граммовъ, на вершинѣ Момблала—998,5 грамма и т. д.



вѣсовъ, поднимается вверхъ (перетягивается) гирей въ 1 килограммъ, подвѣшенный значительно ниже къ другому плечу вѣсовъ, хотя обѣ эти гири вполне точно уравниваютъ другъ друга, когда висятъ на одинаковомъ разстояніи отъ земли. Это относится къ одной парѣ тѣлъ (земля и другое какое-нибудь). Но если сравнивать притяженіе различныхъ тѣлъ на одинаковомъ разстояніи, то окажется, что это притяженіе возрастаетъ пропорціонально произведенію *массы* тѣлъ. Чтобы получить наглядное представленіе о *массѣ*, приведемъ такой примѣръ: пусть будетъ у насъ двѣ вертикальныя оси, на нихъ падѣты горизонтально два большихъ колеса одинаковыхъ размѣровъ, но изъ разнаго матеріала: одно — деревянное, другое — желѣзное. Положимъ, что оси смазаны такъ хорошо, что не можетъ быть и рѣчи о сильномъ треніи или даже, что у желѣзнаго колеса ось деревянная, а у деревяннаго — желѣзная, что совершенно уравниваетъ условія. Попробуемъ привести колеса въ движеніе. Сразу окажется, что для приведенія въ движеніе желѣзнаго колеса требуется гораздо большее усиліе, чѣмъ для деревяннаго. О вѣсѣ, т.-е. о давленіи на горизонтальную подставку, не можетъ быть и рѣчи, такъ какъ оба колеса подперты, и эта разница сводится къ различію ихъ *массы*. Сильно разгонимъ оба колеса, доведя оба до одного и того же числа оборотовъ въ минуту, и перестанемъ вертѣть ихъ. Желѣзное колесо будетъ дольше вертѣться, чѣмъ деревянное, у него, какъ говорятъ, *инерція* больше. Такимъ образомъ, по усилію, которое требуется для приведенія тѣла въ движеніе или для прекращенія движенія, мы можемъ судить о *массѣ* тѣла. Понятно, что масса и вѣсъ пропорціональны другъ другу, и массы мы можемъ сравнивать по вѣсу, такъ какъ въ понятіе о вѣсѣ различныхъ тѣлъ входитъ произведеніе ихъ массы на массу всегда неизмѣнную, а именно на массу земли; при дѣленіи равныя массы земли исключаются, и выходитъ, что вѣса пропорціональны *массамъ*. Среднимъ числомъ, если мы примемъ массу какого-нибудь

объема чистой воды за единицу, то масса <sup>1)</sup> земли (считая всю толщу земли до самого центра) будетъ выражаться числомъ 5,5. Значить, въ одномъ и томъ же объемѣ вода будетъ въ 5,5 разъ слабѣе притягивать какое-нибудь тѣло, чѣмъ земля. На этомъ принципѣ основано устройство батометра <sup>2)</sup> Томсона: представимъ себѣ стальной цилиндръ (смотри рисун. 8) *A*, оканчивающійся тонкой стеклянной трубкой съ мелкими дѣленіями *B*. Въ цилиндръ входитъ поршень *D*, поддерживаемый при посредствѣ подставки *C* четырьмя пружинами *E*, прикрѣпленными ручками *G* къ цилиндру (на рисункѣ видны только 2 пружины). Въ *F* и въ трубкѣ *B* ртуть. Отъ тяжести ртути пружины нѣсколько растягиваются, и ртуть въ узкой трубкѣ *B* останавливается на какомъ-нибудь дѣленіи. Положимъ теперь, что мы перенесли нашъ

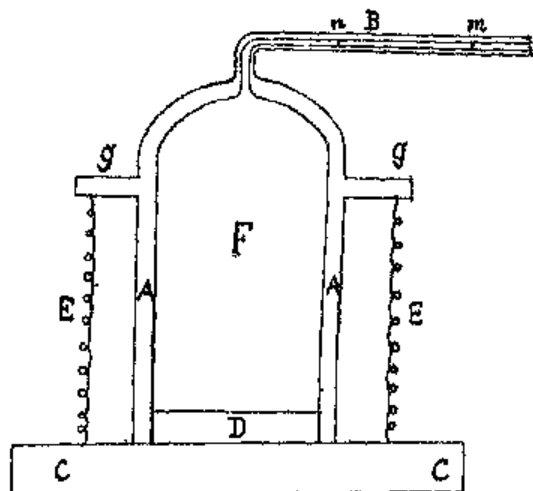


Рис. 8.

аппаратъ на суднѣ въ море. Теперь подъ ртутью находится вмѣсто сплошного одинаковаго слоя земли слой земли, покрытый слоемъ воды. Такъ какъ вода обладаетъ массой въ 5,5 разъ меньшей, чѣмъ земля, а пружина всегда растягивается однимъ и тѣмъ же вѣсомъ одинаково, то понятно (масса ртути останется, конечно, неизмѣнной, такъ какъ количество ея не измѣнилось), что ртуть будетъ слабѣе давить на подставку (прежнюю массу

<sup>1)</sup> Въ томъ же объемѣ, конечно.

<sup>2)</sup> Инструментъ для опредѣленія глубины.

ртути притягивается меньшая масса) и, слѣдовательно, пружины сократятся и вгонятъ часть ртути въ узкую трубку. Ртуть остановится уже на другомъ дѣленіи *m*, лежащемъ дальше отъ цилиндра, чѣмъ *n*. Вычисляя или, что удобнѣе, свѣряя показанія батометра съ дѣйствительно наблюдаемой глубиной моря, наносятъ на трубки величины глубинъ и такимъ образомъ получаютъ приборъ, которымъ можно измѣрять глубину моря, *ничего въ него не опуская*,—приборъ, основанный на томъ, что одна и та же масса или одно и то же количество вещества можетъ имѣть различный вѣсъ.

Этимъ же различіемъ между массой и вѣсомъ можно объяснить цѣлый рядъ любопытнѣйшихъ явленій природы. Такъ, напр., мы знаемъ, что нить, къ которой привѣшена тяжелая гири, располагается вертикально. Но если вблизи находится одиноко стоящая большая гора, то такой отвѣсъ замѣтно отклоняется въ сторону горы. Такого рода отклоненіе замѣчается, напр., въ Шотландіи около Шихалліона. Этими наблюденіями надъ отклоненіемъ отвѣса горами пользуются для вычисленія величины массы земли. Затѣмъ можно указать на приливы и отливы: масса воды не мѣняется, но вѣсъ ея на какомъ-нибудь меридіанѣ уменьшается, когда плоскость этого меридіана при вращеніи земли вокругъ оси проходитъ чрезъ линію, соединяющую центры земли и луны; это зависитъ оттого, что луна въ свою очередь притягиваетъ воду къ себѣ и такимъ образомъ уменьшаетъ притяженіе воды землею. Вслѣдствіе этого и происходитъ то, что мы называемъ приливной волной, потому что водяная оболочка, такъ сказать, отстаетъ отъ твердой земли и, слѣдовательно, вздувается во время прохожденія плоскости меридіана чрезъ указанную выше линію. Точно такъ же мѣняется и число качаній маятника въ различныхъ мѣстахъ земного шара въ зависимости отъ разстоянія даннаго мѣста отъ центра земли (земной „шаръ“ въ дѣйствительности имѣетъ форму трехоснаго эллипсоида) и т. д.

Въ вышней степени важно то обстоятельство, что количество матеріи или вещества не измѣняется ни при какихъ его перемѣнахъ, разъ только мы производимъ опыты въ такихъ условіяхъ, когда ничто не можетъ ускользнуть отъ нашего наблюденія. Когда горитъ какое-нибудь тѣло, то на первый взглядъ кажется, что здѣсь происходитъ исчезновеніе вещества, однакоже, собирая всѣ тѣла, которыя получаютъ при горѣніи, мы увидимъ, что вещество ничуть не пропало. Первые наблюденія этого рода были сдѣланы въ концѣ 18-го вѣка знаменитымъ Лавуазье и въ недавнее сравнительно время (лѣтъ 10 назадъ) вплоть до нынѣшняго года провѣрялись точнѣйшими опытами Крейшгаузера, Ландольта, Гейдвейлера и другихъ ученыхъ, которые производили свои наблюденія надъ тѣлами на точнѣйшихъ вѣсахъ; ихъ вѣсы показывали разницу вѣса при нагрузкѣ до 1 килограмма въ 0,01 миллиграмма, т.-е. 0,00000001 часть взятаго вѣса, при чемъ были приняты во вниманіе всѣ мельчайшія погрѣшности наблюденія. Оказалось, что при самыхъ разнообразныхъ превращеніяхъ матеріи не удавалось замѣтить приращенія или убыли вѣса, *пропорціональнаго количеству взятаго тѣла*, такъ что мы должны признать, что *сохранене вѣса*, а слѣдовательно и *массы*, т.-е. *количества вещества*, является закономъ, точность котораго возрастаетъ съ увеличеніемъ точности и чувствительности нашихъ приборовъ, значитъ, мы должны считать, что *вещество не исчезаетъ и не создается*, и количество его не можетъ быть измѣнено нами, а остается всегда постояннымъ. Этотъ законъ, какъ выражающій въ короткихъ словахъ *всю безъ исключенія массу наблюдений* подобнаго рода, является однимъ изъ основныхъ и наиболѣе важныхъ *законовъ природы*.

Теперь обратимся къ одному интересному свойству матеріи. Мы уже видимъ, что на основаніи необычайной дѣлимости физическихъ тѣлъ, а также на основаніи явленій сжатія и расширенія ихъ, приходится предположить, что

матерія не сплошь наполняетъ пространство, а состоитъ изъ отдѣльныхъ частицъ. Изучая сжатіе газовъ отъ давленія, внутреннее треніе и другія ихъ свойства, можно съ большой долей вѣроятія вычислить даже размѣры отдѣльныхъ частицъ, ихъ число и т. д. Оказывается, напримѣръ, что въ одномъ кубическомъ сантиметрѣ (приблизительно—объемъ обыкновеннаго наперстка) водорода заключается не менѣе двухъ трилліоновъ частицъ; поперечникъ одной такой частицы не болѣе одной двухмилліонной доли миллиметра! Для того, чтобы нагляднѣй представить себѣ эти размѣры, представимъ себѣ шарикъ, наполненный водородомъ, діаметромъ въ 10 сантиметровъ (приблизительно средней величины мячъ) и станемъ разсматривать его подъ такимъ сильнымъ микроскопомъ, чтобы онъ показался намъ величиной съ земной шаръ, тогда частицы (молекулы) будутъ казаться шарами приблизительно въ 10 ст. діаметромъ. Изучая свойства газообразныхъ тѣлъ, мы должны принять, что частицы ихъ движутся съ необычайной быстротой; вычислено, напр., что частицы кислорода проходятъ въ секунду около 500 метровъ, т.-е. приблизительно полверсты въ секунду. Частицы водорода движутся еще быстрѣе; вообще говоря, чѣмъ легче газъ, тѣмъ быстрѣе движутся его частицы. Предположеніе это не противорѣчитъ всеѣмъ извѣстному факту, что запахъ распространяется въ высшей степени медленно: въ самомъ дѣлѣ, быстро несущаяся частица пахучаго газа встрѣчаетъ на своемъ пути милліоны частицъ воздуха, наталкивается на нихъ, заставляя ихъ отскакивать, и сама въ свою очередь отскакиваетъ назадъ, такъ что такая частица какъ будто бы остается на одномъ мѣстѣ, медленно-медленно подвигаясь впередъ только въ тѣ ничтожные промежутки времени, когда она движется свободно, т.-е. не встрѣчаетъ на своемъ пути другихъ частицъ. Что частицы различныхъ газовъ обладаютъ различной скоростью, видно изъ такого опыта. Возьмемъ двухгорлую банку, въ одно горло вставимъ довольно длинную

глубку, на которую при помощи пробки надѣтъ сосудъ изъ неглазированной глины („пористый сосудъ“). Въ другое горло вставимъ трубочку, вытянутую, какъ показано на рисункѣ (см. рис. 9), и доходящую почти до дна банки. Банка налита до половины водой, лучше окрашенной какой-нибудь краской. Возьмемъ теперь опрокинутый вверхъ дномъ стаканъ (такой величины, чтобы нашъ пористый сосудъ цѣликомъ входилъ въ него), наполнимъ его какимъ-нибудь легкимъ газомъ (водородомъ или просто свѣтильнымъ газомъ), прямо подводя подъ стаканъ газопроводную трубочку, и надѣнемъ стаканъ съ газомъ на пористый сосудъ. Жидкость черезъ нѣсколько секундъ станетъ бить довольно высокимъ фонтаномъ. Отчего это? Частицы водорода или свѣтильнаго газа, какъ болѣе легкія, движутся гораздо быстрее тяжелыхъ частицъ воздуха. Значить, въ пористый сосудъ въ каждое мгновеніе входитъ гораздо больше частицъ, чѣмъ выходитъ. Входящій газъ по трубкѣ проникаетъ въ банку и вытѣсняетъ воду, которая можетъ выходить, брызгая фонтаномъ.



Рис. 9.

Снимемъ теперь банку и увидимъ сейчасъ, что чрезъ вытянутую трубку быстро-быстро проходятъ пузырьки воздуха: легкий газъ быстрее уходитъ изъ пористаго сосуда, чѣмъ воздухъ входитъ. Поэтому въ пористомъ сосудѣ, а слѣдовательно и

въ банкѣ образуется разрывное пространство, куда и устремляется воздухъ чрезъ изогнутую трубку. — Изслѣдуя свойства жидкостей, мы тоже придемъ къ заключенію, что и ихъ частицы подвижны: достаточно вспомнить о диффузіи спирта въ воду и обратно, чтобы сразу согласиться съ этимъ предположеніемъ, не говоря уже о „подвижности“ жидкостей, о маломъ, сравнительно, сопротивленіи, которое онѣ оказываютъ движущимся въ нихъ тѣламъ и т. д.<sup>1)</sup> Что касается твердыхъ тѣлъ, то въ этомъ случаѣ, конечно, съ перваго взгляда очень трудно допустить, что частицы ихъ также подвижны, а между тѣмъ это такъ.

Если подвергать, какъ это дѣлалъ Спрингъ, металлы сильному давленію (до нѣсколькихъ тысячъ килограммовъ на квадр. сантиметръ), то они текутъ, какъ жидкости, проникая чрезъ узкія отверстія. Тиндаль показалъ, что ледъ, обыкновенный ледъ, можно сгибать, скручивать, завязывать узломъ и т. д. Всякій, кому приходилось видѣть лопнувшія или разбитыя бочки съ твердой смолой (варомъ), можетъ сказать, что онъ видѣлъ, какъ течетъ твердое тѣло: изъ отверстій и трещинъ бочки даже на холоду смола выступаетъ постепенно, образуя складки и растекаясь полукругомъ, не теряя (на холоду) своей хрупкости. Если взять нѣсколько кусочковъ хрупкаго бальзама толу (толуанскій бальзамъ, какъ его

---

1) Въ связь съ большою подвижностью частицъ въ жидкостяхъ и газахъ можно поставить слѣдующее явленіе: если въ одномъ мѣстѣ жидкости или газа произвести на нихъ давленіе, то это давленіе *одинаково* передается во всѣ стороны, чего не замѣчается въ твердыхъ тѣлахъ. *Одинаково* въ этомъ случаѣ будетъ давленіе на одинаковую поверхность; если же мы измѣримъ давленіе, приходящееся на площади въ 2, 3, 100 и т. д. разъ большія той, на которую произвели давленіе, то оно окажется, слѣдовательно, въ 2, 3, 100 и т. д. разъ больше оказавшаго. На этомъ свойствѣ жидкостей основано устройство гидравлическихъ прессовъ: если мы давимъ съ силою въ одинъ пудъ на воду поршень въ 1 кв. дюймъ и вода передаетъ давленіе на другой поршень, площадь котораго равна 1000 кв. дюймовъ, то второй поршень давитъ всей своей поверхностью съ силой въ 1000 пудовъ.

иначе называютъ, продается въ аптекахъ и употребляется для курительныхъ бумажекъ и порошковъ) и насыпать ихъ въ коробочку, то чрезъ иѣкоторое время можно замѣтить, что всѣ отдѣльные кусочки сольются въ одинъ сплошной кусокъ, принимающій форму коробочки. Наконецъ, наблюденія надъ гранитными скалами показываютъ, что и эти твердые тѣла подъ дѣйствіемъ страшнаго давленія верхнихъ слоевъ тоже обнаруживаютъ способность „течь“. Нѣкоторымъ указаніемъ на существованіе движенія частичекъ въ твердыхъ тѣлахъ можетъ служить превращеніе прозрачнаго стекла въ тусклую, мелко кристаллическую массу; это превращеніе въ особенности хорошо замѣтно на поверхности старыхъ стеколъ. Точно такъ же сѣра, застывая, кристаллизуется иглами, которыя съ теченіемъ времени превращаются въ мелкіе ромбическіе кристаллы. Интересно отмѣтить, что желѣзо подъ вліяніемъ частыхъ перемѣнъ температуры и постоянныхъ сотрясеній быстро дѣлается кристаллическимъ и становится хрупкимъ и ломкимъ: здѣсь ясно видна связь между движеніемъ и измѣненіемъ внутренней структуры тѣла. Приведенныхъ примѣровъ, можно думать, достаточно, чтобы признать подвижность частицъ твердаго тѣла. Эти факты тѣмъ болѣе убѣдительны, что при повышеніи температуры твердое тѣло часто переходитъ въ жидкое и даже въ газообразное состояніе, при чемъ этотъ переходъ очень часто совершается не сразу, а постепенно, такъ, напр.: твердое тѣло, напримѣръ, обыкновенное стекло, часто такъ медленно размягчается, что мы въ сущности не можемъ даже точно установить моментъ перехода отъ твердаго тѣла къ жидкости; точно такъ же и всякая жидкость при извѣстныхъ условіяхъ можетъ быть непрерывнымъ переходомъ обращена въ газообразное (или парообразное) состояніе<sup>1)</sup>. Такимъ образомъ, мы можемъ считать, что ча-

---

<sup>1)</sup> Это послѣднее явленіе наблюдается при нагреваніи жидкостей подъ очень большими давленіями, напр., въ запаянныхъ трубкахъ.



стицы всѣхъ гѣлъ во всѣхъ трехъ состояніяхъ обладаютъ большою или меньшею подвижностью. Но если допустить такую подвижность, какъ же представлять себѣ способность тѣлъ, въ особенности твердыхъ, сохранять извѣстную, опредѣленную для каждаго рода индивидуальнаго вещества форму? Для этого мы должны представить себѣ, что между частицами дѣйствуетъ особое *связаніе*, благодаря которому отдѣльныя частицы держатся въ нѣкоторыхъ конечныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга. Насколько велико это сѣяніе, можно видѣть изъ такого простаго опыта: если сдѣлать изъ листа бумаги коническій свертокъ и воспользоваться имъ какъ трубочкой для выдуванія мыльныхъ пузырей (вмѣсто чашечки, конечно, надо взять большую тарелку, а въ мыльный растворъ, для большей вязкости его, прибавить глицерину или, за неимѣніемъ его, густаго сахарнаго сиропа), то при нѣкоторомъ навыкѣ легко выдуть пузырь съ тарелку въ поперечникѣ. Если зажать узкій конецъ нашего свертка, потомъ поднести его къ пламени свѣчи и открыть, то раздутая пленка, иной разъ настолько тонкая, что на ней появляются радужныя цвѣта, сокращаясь <sup>1)</sup>, вытѣснить воздухъ изъ трубки съ такою силой, что свѣча погаснетъ. Далѣе всѣмъ извѣстно, какую силу надо употребить, чтобы раздѣлить два хорошо пришлифованныхъ стекла, не сдвигая ихъ. Тутъ не можетъ быть рѣчи о давленіи воздуха, потому что такія слипшіяся стекла не раздѣляются въ пустотѣ. Способность кристалловъ раскалываться по извѣстнымъ направленіямъ, неодинаковая „твердость“, т.-е. способность противодѣйствовать царапанью или струганію поверхности кристалла другимъ тѣломъ, разнообразныя, часто очень красивыя, правильно расположенныя фигурки при травленіи кристалловъ или металловъ различными жидкостями и га-

---

<sup>1)</sup> Не надо забывать, что жидкость стремится принять возможно малую поверхность, именно вслѣдствіе существованія *поверхностнаго натяженія*, вызываемаго взаимодействіемъ отдѣльныхъ частицъ.

зами, — все это указывает не только на существованіе сѣпленія частичекъ, но и на неодинаковость его по разнымъ направленіямъ въ кристаллахъ. Существованіе поверхностнаго натяженія въ жидкостяхъ и, наконецъ, изученіе явленій при сильномъ сжатіи газовъ <sup>1)</sup> приводитъ насъ къ допущенію этого сѣпленія въ жидкостяхъ и газахъ. Такимъ образомъ, подводя итогъ всему сказанному, мы приходимъ къ тому выводу, что намъ удобно для нагляднаго представленія о тѣлахъ представлять себѣ, что всѣ тѣла состоятъ изъ мельчайшихъ движущихся частицъ, способныхъ притягиваться другъ къ другу; прямымъ слѣдствіемъ этого притяженія тѣлъ частицъ будетъ ихъ вѣсомость то-есть способность ихъ оказывать давленіе на преграду, мѣшающую имъ приблизиться къ притягивающей ихъ землѣ. Что касается дѣленія всѣхъ тѣлъ на твердыя, жидкія и газообразныя, то мы видимъ, что это дѣленіе можетъ помочь намъ разобратъ въ свойствахъ отдѣльныхъ тѣлъ, хотя „идеально“ твердаго, „идеально“ жидкаго или „идеально“ газообразнаго тѣла мы не знаемъ, такъ какъ при измѣненіи внѣшнихъ условій мы можемъ достигнуть непрерывныхъ измѣненій состоянія тѣлъ, при которыхъ взаимные переходы будутъ непрерывны. Общія свойства физическихъ тѣлъ, какъ мы видѣли, являются въ значительной степени одинаковыми для всѣхъ трехъ состояній. Для болѣе детальнаго изученія явленій, происходящихъ съ тѣлами, мы сначала познакомимся нѣсколько подробнѣе съ движеніемъ тѣлъ, а затѣмъ перейдемъ къ ознакомленію съ тѣмъ видомъ энергіи, который наиболѣе удобно связываетъ три состоянія физическихъ тѣлъ и обуславливаетъ ихъ взаимные переходы,

---

<sup>1)</sup> Правильности о которыхъ мы упоминаемъ на стр. 19, наблюдаются при очень сильныхъ разрывеніяхъ газовъ; при сильномъ сжатіи приходится считаться какъ съ тѣмъ, что не все сжимаемое пространство свободно (несжимаемыя частицы газа занимаютъ извѣстное пространство), такъ и съ тѣмъ обстоятельствомъ, что въ сжатомъ газѣ рѣзче замѣчается сѣпленіе его частицъ.

то-есть къ изученію явленій, сопровождающихъ измѣненіе количества или напряженія тепловой энергіи. Это будетъ тѣмъ болѣе удобно, что явленія движенія и явленія тепловыя тѣснѣйшимъ образомъ связаны между собой, какъ мы это видимъ при сколько-нибудь внимательномъ отношеніи къ явленіямъ природы.

## ГЛАВА II.

### Движеніе. Работа.

Когда мы говорили объ общихъ свойствахъ тѣлъ, то намъ слѣдовало бы упомянуть о томъ, что если тѣло находится въ покой, то оно не можетъ само по себѣ прийти въ движеніе; если же оно, наоборотъ, движется, то оно не можетъ опять-таки само по себѣ измѣнить или прекратить это движеніе. Первое для насъ весьма понятно, разъ мы говоримъ о неодушевленныхъ тѣлахъ, но второе—иной разъ кажется не совсѣмъ согласнымъ съ повседневно наблюдаемыми явленіями: мы знаемъ, что качающійся маятникъ скоро перестаетъ качаться, а катящійся даже по гладкой доскѣ шаръ, въ концѣ-концовъ, останавливается. Правда, движеніе здѣсь прекращается, но причина этой остановки есть, и весьма опредѣленная: маятникъ задерживается сопротивленіемъ воздуха и треніемъ около точки подвѣса, а шару мѣшаетъ катиться безконечно долго опять-таки сопротивленіе воздуха и треніе о неровности доски. Убѣдиться въ этомъ очень легко: если повѣсить маятникъ въ помѣщеніи, изъ котораго выкаченъ воздухъ, то онъ будетъ качаться несравненно дольше; если же устроить привѣсъ его такимъ образомъ, чтобы весь маятникъ качался на стальномъ ножѣ, опирающемся на агатовую пластинку, то въ пустотѣ эти качанія будутъ продолжаться даже нѣсколько недѣль. То же можно сдѣлать и съ катящимся шаромъ, заставляя его ка-

тятся по чрезвычайно гладкой стеклянной поверхности. Если же мы захотимъ остановить такой качающійся маятникъ или катящійся шаръ, то легко замѣтимъ, что они оба оказываютъ сильное давленіе на подставляемую преграду и стремятся ее сбросить съ своего пути. Съ другой стороны, подвѣсивъ маятникъ вертикально, мы должны толкнуть его съ известной силой, чтобы отклонить его на некоторый уголъ отъ первоначальнаго положенія и заставить качаться. Такимъ образомъ, мы должны признать, что приведеніе тѣла въ движеніе или измѣненіе, а иногда и полное прекращеніе этого движенія требуютъ известнаго усилія. Замѣтимъ, что это усиліе будетъ, очевидно, тѣмъ больше, чѣмъ больше масса тѣла и чѣмъ больше его скорость; раскатать тяжелый языкъ колокола или остановить быстро мчащійся локомотивъ гораздо труднѣе, чѣмъ тѣ же дѣйствія надъ небольшимъ легкимъ языкомъ или медленно идущимъ паровозомъ. Если мы хотимъ сообщить тѣлу большую скорость, то и усиліе при этомъ будетъ соответственно больше. При подробномъ изученіи явленій движенія оказывается, что разъ приложенное усиліе можетъ придать тѣлу опредѣленную скорость, которая будетъ сохраняться очень долгое время, если только не будетъ при этомъ какихъ-нибудь противодействующихъ причинъ: напр., когда мы ударомъ молотка заставимъ катиться хорошо выточенный крокетный шаръ по гладкой, почти зеркальной поверхности замерзшаго пруда, то шаръ катится очень долго, сохраняя свою начальную скорость.

При этомъ мы легко можемъ замѣтить, что бакаутный шаръ, одного діаметра съ ясенымъ, начавъ движеніе съ одинаковой съ нимъ скоростью, гораздо дольше катится по льду; но за то, чтобы разогнать оба шара съ одинаковой скоростью, придется бакаутный шаръ (онъ гораздо тяжеле) ударить молоткомъ гораздо сильнѣе. Все это показываетъ, что *инерція* или способность тѣлъ сохранять состояніе покоя или движенія тѣсно связана съ массой. Благодаря этой способности, тѣла съ большой массой долго сохраняютъ

приданную имъ скорость: если локомотивъ почему-либо остановится, напр., при сходя съ рельсовъ, то вагоны, продолжая по инерціи двигаться, налетаютъ другъ на друга съ страшной силой. Этой же инерціей объясняется и то обстоятельство, что желѣзнодорожный поѣздъ не можетъ сразу пойти полнымъ ходомъ, а лишь постепенно достигаетъ его.

Существованіемъ инерціи объясняются многія явленія, наблюдаемыя въ грандіозномъ видѣ въ природѣ. Благодаря тому обстоятельству, что безъ особой причины не можетъ измѣниться скорость движенія, мы наблюдаемъ отступленіе рѣкъ, текущихъ по меридіану, отъ городовъ, построенныхъ на лѣвомъ берегу въ сѣверномъ полушаріи и на правомъ — въ южномъ. Въ самомъ дѣлѣ, положимъ, рѣка течетъ съ сѣвера на югъ съ опредѣленной скоростью. Мы знаемъ, что чѣмъ ближе какая-нибудь точка на меридіанѣ къ экватору, тѣмъ съ большей скоростью она описываетъ кругъ вокругъ земной оси <sup>1)</sup>. Водяныя струи, несущіяся на югъ, не могутъ сразу принять новой скорости точки меридіана, а потому меридіанъ и рѣка, такъ сказать, расходятся другъ съ другомъ; поэтому если мы будемъ считать точкой меридіана какой-нибудь городъ, лежащій къ востоку отъ рѣки, если рѣка течетъ на сѣверъ, или къ западу, если на югъ, рѣка подходитъ къ городу; при обратномъ расположеніи, наоборотъ, рѣка удаляется отъ города; правый берегъ поэтому выше лѣваго, и рѣка, наступающая вправо, подмываетъ города. Какъ примѣръ, можно указать на Нижний-Новгородъ и Васильсурскъ (на правомъ берегу), въ которыхъ подходитъ рѣка, или Казань (на лѣвомъ берегу), отъ которой рѣка уходитъ все дальше и дальше. Этотъ законъ уклоненія рѣкъ отъ первоначальнаго русла назы-

---

<sup>1)</sup> Скорость движенія точки на экваторѣ равна 463,8 метра въ секунду, а на полюсахъ она равна нулю. Движеніе земли вокругъ оси совершается съ запада на востокъ

вается закономъ Вера. Онъ подтверждается и на морскихъ теченіяхъ, какъ, напр., на Гольфштремѣ, который отклоняется къ берегамъ Европы, именно благодаря этому закону, и на воздушныхъ теченіяхъ, будь это движеніе большихъ массъ воздуха въ нассаляхъ и муссонахъ или передвиженіе небольшихъ сравнительно массъ въ циклонахъ и антициклонахъ, чередованіемъ которыхъ обусловливается состояніе погоды.

Итакъ, разъ затраченное усиліе придаетъ тѣлу постоянную скорость.

Съ другой стороны можетъ быть и такой случай, когда усиліе прилагается во все время движенія: понятно, что скорость движенія тѣла въ такомъ случаѣ будетъ все возрастать и возрастать, потому что къ ранъше приданной и сохраненной по инерціи скорости новое усиліе присоединитъ новое увеличеніе скорости и т. д. Какъ примѣръ, можно указать на паденіе тѣлъ съ высоты; усиліемъ здѣсь явится притяженіе къ землѣ; оно дѣйствуетъ во все время паденія, и мы можемъ убѣдиться, что скорость паденія въ первую секунду будетъ 9,81, во вторую—19,62 метра, въ третью—29,43 метра и т. д. Представимъ себѣ, что противодействія этому движенію нѣтъ <sup>1)</sup> и усиліе прилагается постоянно, то у насъ будетъ замѣчаться постоянный приростъ скорости (въ нашемъ случаѣ 9,81 метра въ каждую секунду). Этотъ приростъ получаетъ названіе *ускоренія*. Понятно, что чѣмъ больше масса тѣла и чѣмъ большее ускореніе хотимъ мы ему сообщить, тѣмъ могуществен-

---

<sup>1)</sup> Напр., въ нашемъ случаѣ: когда падаетъ очень тяжелое тѣло съ большой поверхностью, то сопротивленіе, оказываемое воздухомъ, настолько ничтожно, что его можно не принимать во вниманіе. Если же тѣло легкое и поверхность его велика, то паденіе замедлится сопротивленіемъ воздуха. Напр., при паденіи бумажнаго кружка. Но если этого сопротивленія нѣтъ, напр., когда мы кладемъ на мѣдный кружокъ бумажный кружокъ такой же величины и бросаемъ ихъ плашмя съ высоты, то бумажка и кружокъ падаютъ на землю въ одно время.

пѣе должна быть причина, вызывающая это движеніе. Мы ее будемъ называть, какъ это принято всюду, *силой*. Значить, сила возрастаетъ и убываетъ вмѣстѣ съ массой и ускореніемъ или, какъ принято говорить, она пропорциональна массѣ и ускоренію т.-е. ихъ произведенію. Что же такое эта сила? Существуетъ ли она на самомъ дѣлѣ или мы просто желаемъ пользоваться удобнымъ названіемъ для обозначенія чего-то отвлекающаго? Для того, чтобы рѣшить этотъ вопросъ, разберемъ нѣсколько примѣровъ. Положимъ, что какой-нибудь человѣкъ можетъ поднять одной рукой пять-

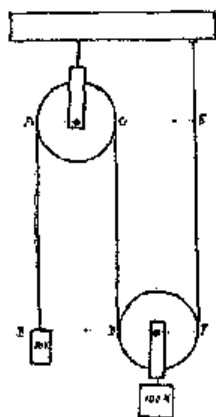


Рис. 10.

десять килограммовъ (3 пуда). Значить, этими пятьдесятью килограммами определяется его сила. Но если онъ привяжетъ къ подвижному блоку сто килограммовъ, подвѣситъ подвижной блокъ къ неподвижному, то ему легко будетъ поднять эти сто килограммовъ: сила его увеличилась вдвое (см. рисунокъ 10). Можетъ ли человѣкъ силой своихъ легкихъ поднять на небольшую хотя высоту 5 килограммовъ (12 фунтовъ)? Этотъ вопросъ можетъ показаться на первый взглядъ даже перазумнымъ, а между тѣмъ, прикрѣпивъ къ бычачьему пузырю то-

ненькую трубочку и положивъ на него названный грузъ, можно легко поднять его, вдвывая въ пузырь воздухъ. Благодаря разности поверхности поперечнаго сѣченія трубки и пузыря, мы во много десятковъ разъ увеличимъ силу нашихъ легкихъ. Вспомнимъ, наконецъ, всевозможные рычаги (рис. 11), ворота (рис. 12), домкраты, зубчатые колеса (рис. 13), сложные блоки (рис. 14): во всѣхъ случаяхъ употребленія этихъ приборовъ мы увеличиваемъ нашу силу во много разъ. Многие, вѣроятно, видали новыя „компаунды-паровозы“ съ нѣсколькими цилиндрами: мятый т.-е. потерявшій часть своей упругости паръ переходитъ изъ

маленькаго цилиндра въ другой, съ большими поперечнымъ сѣченіемъ, и дѣйствуетъ тогда на поршень новаго цилиндра съ прежней силой. Словомъ, примѣровъ явленій, при кото-

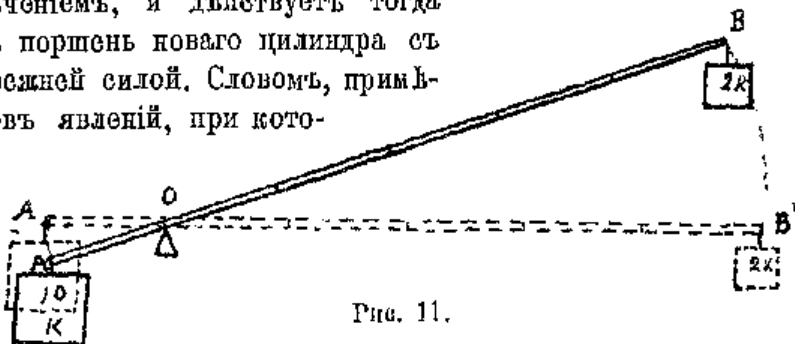


Рис. 11.

рыхъ по произволу *увеличивается сила*, такъ много, и они такъ часто встрѣчаются, что въ этомъ не можетъ быть никакого сомнѣнія. Поэтому говорить о силѣ, какъ о чемъ-то суще-

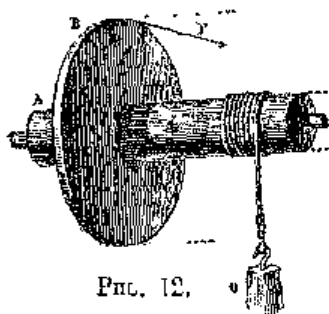


Рис. 12.

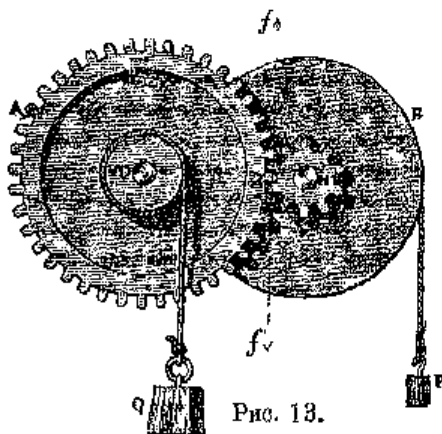


Рис. 13.

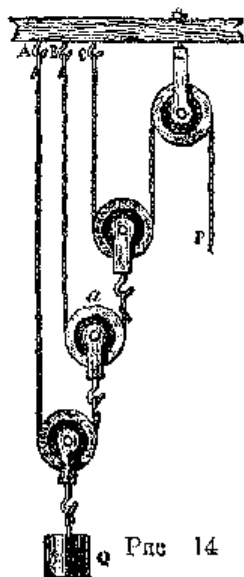


Рис. 14

ствующемъ въ дѣйствительности, не приходится. Другое дѣло будетъ, когда мы станемъ говорить о результатахъ,



достигнутыхъ такимъ увеличеніемъ силы. Возьмемъ опять нашъ первый примѣръ съ гирей и разберемъ его повнимательнѣе. Положимъ, на то, чтобы поднять гирю въ 50 кило на 1 метръ, намъ потребуется всего одна минута. Значить, нашу силу мы будемъ прилагать на разстояніи одного метра въ теченіе одной минуты. Если бы грузъ въ 100 кило, который мы подняли при помощи блока, состоялъ изъ двухъ гирь по 50 кило, то мы сначала подняли бы одну гирю, потомъ—другую и затратили бы на это двѣ минуты, т.-е. такое время, за которое мы могли бы поднять 50 кило на 2 метра. Сколько же времени будемъ мы поднимать 100 кило на высоту одного метра при помощи подвижного блока: нашъ рисунокъ (вполнѣ отвѣчающій дѣйствительному положенію вещей) показываетъ, что для поднятія груза въ 100 кило на 1 метръ, напр. до высоты  $AE$ , надо смотать кусокъ веревки длиною въ  $CD + FE$ , т.-е. два метра веревки и употребить на это двѣ минуты. Итакъ, результатъ дѣйствія силы въ 50 кило, дѣйствующей на протяженіи двухъ метровъ, равенъ дѣйствию силы въ 100 кило, дѣйствующей на протяженіи въ одинъ метръ. *Что мы выиграли въ силѣ, то потеряли во времени*, и результатъ нашихъ усилій одинаковый и съ машиной и безъ машины. Удобство ея заключается, значить, только въ томъ, что мы какъ бы раздѣляли на двѣ части нераздѣляемый грузъ. Совершенно то же будетъ въ случаѣ приложенія рычага: (см. рис. 11) и здѣсь мы должны употребить во столько разъ больше времени для подъема груза на опредѣленную высоту, во сколько разъ дѣйствующая сила меньше той, которую приходится преодолевать: дуга  $BB$  во столько разъ больше дуги  $AA$ , во сколько разъ  $OB$  болѣе  $AO$ , т.-е. въ пять разъ. Въ опытѣ съ пузыремъ—опять то же: пузырь съ узкой трубочкой представляетъ одинъ изъ видовъ гидравлическаго пресса, дѣйствіе котораго основано на передачѣ давленія въ жидкости или въ газѣ: давленіе на единицу поверхности вездѣ одно и то же, но зато число единицъ этой поверхности разное въ

цилиндрахъ пресса. Ясное дѣло, что въ широкій цилиндръ приходится прогонять гораздо больше воды, чѣмъ въ узкій для одинаковаго подъема, а, слѣдовательно, затратить соответственно этому и большее количество времени. Словомъ сказать, во всѣхъ приведенныхъ нами примѣрахъ, да и по всѣхъ подобныхъ случаяхъ вообще, результатъ дѣйствія силы, т.-е. *опредѣленная работа*, является *неизмѣннымъ*. Поэтому-то работу, а, слѣдовательно, и *все то, что можетъ перейти въ работу*, надо считать существующей къ дѣйствительности, какъ существуетъ вѣкъ насъ въ дѣйствительности матерія. Работу и все то, что можетъ быть переведено въ работу, мы называемъ *энергiей*, и, такимъ образомъ, болѣе подробно объясняемъ то, о чемъ у насъ говорилось въ срединѣ первой главы. Для работы и силы у насъ есть особыя единицы, такъ называемыя абсолютныя, по системѣ С. G. S. (сантиметръ—граммъ—секунда). Единицей силы—диной—считается сила, способная въ 1 секунду массѣ въ одинъ граммъ сообщить ускореніе въ 1 сантиметръ. Такъ какъ сила притяженія земли сообщаетъ одному грамму въ 1 секунду ускореніе въ 981 сантим., то, значитъ, сила земного притяженія (на 1 граммъ) равна 981 динамъ, или одна дина  $\frac{1}{981}$  грамма, т.-е. почти миллиграммъ. Работа одной дины на протяженіи одного сантиметра даетъ единицу работы—*эргъ*. Значитъ, однимъ эргомъ можно въ 1 секунду поднять почти миллиграммъ на высоту одного сантиметра. Въ такъ называемой „лошадиной силѣ“ 7.457.500.000 эрговъ. Эти единицы силы и работы настолько удобны при различныхъ соображеніяхъ и вычисленіяхъ, что онѣ больше и больше вытѣсняютъ изъ употребленія прежнія обозначенія единицъ работы, какъ-то: пудо-футы, килограммометры и т. д. Мы уже видѣли, что всякій видъ энергiи можетъ быть сведенъ къ работѣ, такъ что эргами можно выражать количество какой бы то ни было энергiи. Это выраженіе количества энергiи тѣми ли, другими ли единицами является тѣмъ

болѣе важнымъ, что энергію продають, покупають и... даже крадутъ. Дѣла „о кражѣ электрической энергіи“, представляющей очень удобный „объектъ похищенія“, могутъ служить хорошимъ доказательствомъ въ пользу признанія реального, т.-е. дѣйствительнаго существованія энергіи вообще.

Разбирая различные виды энергіи, мы можемъ раздѣлить ихъ на двѣ большія группы: въ однихъ случаяхъ мы говоримъ о *потенціальной энергіи* какого-нибудь тѣла, въ другихъ—о *кинетической*. Понятно, что когда тѣло находится въ движеніи, то при этомъ оно можетъ совершать и совершаетъ известное количество работы. Но и тогда, когда оно находится въ покой, оно можетъ заключать въ себѣ большой запасъ энергіи. Очень часто положеніе тѣла сопровождается возможностью совершить работу въ будущемъ: хорошимъ примѣромъ можетъ служить заведенная пружина въ часахъ съ маятникомъ или гири въ тѣхъ же часахъ, поднятыя на известную высоту. И въ первомъ и во второмъ случаѣ никакой работы еще не совершается этими тѣлами, но они могутъ (potent) въ каждый данный моментъ отъ ничтожнаго измѣненія условій дать начало движенію, а следовательно и работѣ. Поэтому-то энергія въ такой формѣ и называется *потенціальной*, въ отличіе отъ энергіи *кинетической*, гдѣ эта работа уже совершается или, правильнѣе сказать, гдѣ уже расходуется ими проявляемая энергія. У. Карпентеръ въ своей книгѣ „Энергія въ природѣ“ говоритъ, что подъ словомъ „энергичный человѣкъ“ мы подразумеваемъ не только человѣка, который въ данный моментъ энергично работаетъ или дѣйствуетъ, но и того, кто завѣдомо можетъ проявить при подходящихъ условіяхъ способность произвести много работы. Такъ и въ понятіи объ энергіи, присущей „неодушевленнымъ тѣламъ“. Если мы проведемъ дальше аналогію между „энергичнымъ человѣкомъ“ и какимъ-нибудь тѣломъ, обладающимъ запасомъ энергіи, то должны были бы признать, что въ каждый данный моментъ

ося энергія (работа, которую может сдѣлать въ извѣстное время такой энергичный человѣкъ) складывается изъ двухъ частей: той, что уже расходуется, и той, что еще можно будетъ совершить въ послѣдствіи. Это дѣленіе всего запаса энергіи на двѣ такіа части лучше всего поясняется на примѣрѣ паденія тяжелаго тѣла съ высоты внизъ: въ каждый данный моментъ работа, которую совершаетъ при паденіи камень, его, какъ говорятъ, „живая сила“, равна тому запасу работы, которымъ онъ обладалъ до начала паденія, будучи поднятъ на извѣстную высоту, безъ той работы, которую онъ еще можетъ совершить при паденіи отъ разсматриваемой точки до конца. Если изслѣдовать цѣлый рядъ аналогичныхъ примѣровъ, то мы придемъ къ заключенію, что кинетическая энергія тѣла увеличивается на счетъ потенциальной и наоборотъ. Понятно, что кинетическая энергія (живая сила) будетъ опредѣляться массой и скоростью тѣла, а потенциальная — силой и пространством<sup>1)</sup>, хотя по существу своему оба эти выраженія, какъ обозначенія числа единицъ работы, понятно, одинаковы.

Любопытно то обстоятельство, что никому и никогда не удавалось построить машину, при помощи которой можно было бы, разъ затративъ опредѣленное количество энергіи, получать въ неограниченномъ количествѣ работу. Всѣ попытки создать такъ называемое „perpetuum mobile“ т.-е. вѣчное движеніе, оставались безплодными. Ученныя общества и академіи наукъ давно уже перестали разсматривать подобныя попытки, и въ настоящее время увѣренность въ невозможности существованія такой машины настолько велика, что если гдѣ-нибудь въ разсужденіяхъ или вычисленіяхъ мы приходимъ къ perpetuum mobile, то сейчасъ же начинаемъ искать ошибокъ въ нашихъ разсужденіяхъ; весьма важно отмѣтить то обстоятельство, что

<sup>1)</sup> Очень простое вычисленіе показываетъ, что живая сила равна массѣ, умноженной на половину квадрата скорости.

при этомъ, дѣйствительно, мы находимъ тѣ или другія ошибки. Автору этой книжки лично приходилось встрѣчаться со многими самоучками, отыскивающими и въ настоящее время *perpetuum mobile* въ томъ или другомъ замаскированномъ видѣ, и всегда оказывалось, что изобрѣтатели или смѣниваютъ „силу“ съ „работой“, или же не принимаютъ во вниманіе того постоянного правила, по которому „что выигрывается въ силѣ, то теряется во времени“.

Движеніе всякой машины будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока не будетъ истрачено послѣдній запасъ потенциальной энергіи; какъ только вся потенциальная энергія перешла въ кинетическую, такъ сейчасъ же исчезаетъ основной источникъ дѣйствія машины, и она въ лучшемъ случаѣ уподобляется маятнику, движущемуся съ ничтожнымъ треніемъ въ пустотѣ, т. - е., совершивъ еще въ теченіе нѣкотораго, иногда очень продолжительнаго, времени движеніе по инерціи, она останавливается. Разъ убѣдившись въ невозможности существованія *perpetuum mobile*, мы должны вездѣ и всюду, гдѣ только существуетъ непрекращающееся движеніе, искать причины, ведущей къ возобновленію запасовъ потенциальной энергіи. Если намъ удалось накопить большой запасъ потенциальной энергіи, запрудивъ, напр., небольшую рѣчку, то мы можемъ израсходовать эту потенциальную энергію, переводя ее въ кинетическую, т. - е. заставляя ее падать на лопасти водяного колеса, вертѣть его и совершать ту или иную работу. Какъ только вся вода спущена—израсходована потенциальная энергія, намъ приходится снова закрывать плотъ и опять накапливать потенциальную энергію, необходимую намъ для пользованія энергіей кинетической. Запасы потенциальной энергіи въ видѣ дровъ, каменнаго угля, торфа или нефти всегда хранятся тамъ, гдѣ требуется непрерывная трата механической работы — одного изъ видовъ кинетической энергіи.

Въ природѣ переходъ потенциальной энергіи въ кинетическую мы наблюдаемъ на теченіи рѣкъ постоянно и

въ грандіозныхъ размѣрахъ. Всѣ водяные резервуары, лежащіе выше уровня океана, какъ-то: тающіе снѣга на горахъ, высоко расположенныя озера и болота, представляютъ значительные запасы потенціальной энергіи, которая при сколько-нибудь благоприятныхъ обстоятельствахъ переходитъ въ кинетическую, т.-е. водяныя массы получаютъ опредѣленную скорость. Скорость эта тѣмъ больше, чѣмъ больше паденіе русла рѣки, т.-е. чѣмъ значительнѣе разность высотъ устья и истока; на уровнѣ океана эта скорость дѣлается равной нулю, и движеніе прекращается. Благодаря этому прекращенію движенія, весь илъ, песокъ и глина, которые несетъ рѣка, осаждаются у устья рѣкъ или же выносятся (при быстромъ паденіи русла рѣки у самого устья) въ океанъ и тамъ уже падаютъ на дно. И въ томъ и въ другомъ случаѣ измѣняется значительно рельефъ земной поверхности. Съ другой стороны, мы видимъ, что движеніе воды на поверхности земного шара совершается безъ перерыва, такъ что, слѣдовательно, должно искать источникъ энергіи, который дастъ возможность прекратившей уже движеніе водѣ вновь получить запасъ потенціальной энергіи. Всѣмъ хорошо извѣстно, что этотъ круговоротъ воды обусловливается выпаденіемъ дождя, снѣга и т. д., а эти атмосферныя осадки въ свою очередь зависятъ отъ испаренія воды, вызываемаго солнечной теплотой. Такимъ образомъ, мы приходимъ къ заключенію, что запасы энергіи, насчетъ которой совершается движеніе воды въ рѣкахъ, которой и мы можемъ пользоваться при помощи турбинъ, мельничныхъ колесъ и т. д., поддерживается теплотой солнца. Значить, мы эту теплоту можемъ рассматривать, какъ источникъ движенія, и такимъ образомъ тѣсно связать между собой два вида энергіи — механическую работу и тепловую энергію, что мы и сдѣлаемъ въ слѣдующей главѣ.

---

## ГЛАВА III.

## Тепловые явленія.

Что такое теплота, мы, повидимому, знаемъ очень хорошо и, какъ кажется, никогда не ошибаемся, опредѣляя, какое тѣло теплое, а какое холодное. Однакоже на ощущенія, которыя мы получаемъ при помощи нашихъ органовъ чувствъ, особенно полагаться нельзя. Въ самомъ дѣлѣ, когда намъ бываетъ холодно въ обыкновенное время, то это ощущеніе сопровождается потерей тепла нашимъ тѣломъ, при чемъ организмъ нашъ принимаетъ цѣлый рядъ мѣръ, чтобы избѣжать потери тепла.

Если въ силу какихъ-нибудь неблагоприятныхъ условій урегулированіе потери тепла нарушается такимъ образомъ, что тѣло наше дѣлается теплѣе, то мы въ это время (по время „жара“ для другихъ) почти всегда чувствуемъ ознобъ. Впрочемъ, нѣтъ надобности быть больнымъ, чтобы убѣдиться въ обманчивости нашихъ тепловыхъ ощущеній: достаточно погрузить одну руку (или палецъ) въ ледяную воду, а другую (или палецъ другой) въ возможно горячую, а потомъ обѣ руки—въ комнатную воду, то для первой руки вода покажется очень теплою, а для второй — очень холодною. Ясное дѣло, что для опредѣленія, теплое тѣло или холодное, надо придумать какой-нибудь болѣе надежный приборъ. Въ этомъ отношеніи очень удобнымъ оказывается примѣненіе того факта, что всѣ почти тѣла, за исключеніемъ очень немногихъ <sup>1)</sup>, при нагреваніи расширяются по всѣмъ тремъ направленіямъ, и при охлажденіи сжимаются: небольшой мѣдный шарикъ *a* проходитъ легко чрезъ мѣдное же

<sup>1)</sup> Напримѣръ, вода при нагреваніи отъ точки замерзанія до  $4^{\circ}\text{C}$  не расширяется, а сжимается, растопутый каучуковый втутъ (или трубка) тоже сокращается при нагреваніи, такъ что если устроить приборъ, по-

кольцо  $m$ ; если сильно нагрѣть шарикъ на спиртовой лампочкѣ и положить его на кольцо, то мы увидимъ, что

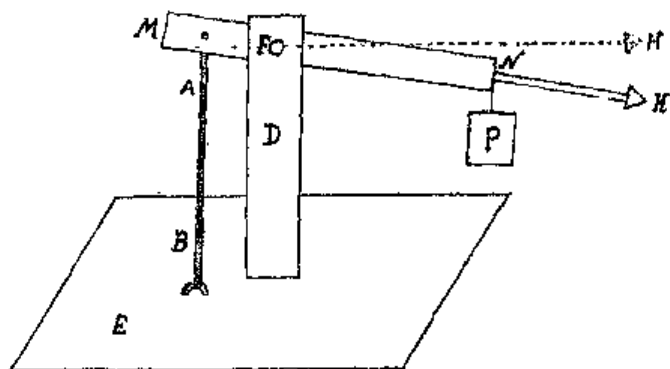


Рис. 15.

онъ уже не проходитъ чрезъ кольцо (см. рис. 16). Это показываетъ, что шарикъ расширился. Когда онъ остынетъ, то снова легко пройдетъ чрезъ кольцо и повиснетъ ниже его на цѣпочкѣ. Если мы возьмемъ длинный металлическій прутъ, укрѣпимъ одинъ его конецъ неподвижно, а другой подведемъ къ короткому колѣну длиннаго изогнутаго рычага, длинный конецъ котораго движется по дугѣ съ дѣленіями, то мы получимъ приборъ, позволяющій намъ не только узнавать, нагрѣвается тѣло или охлаждается, но и опредѣлять степень этого нагрѣванія или *температуру* даннаго

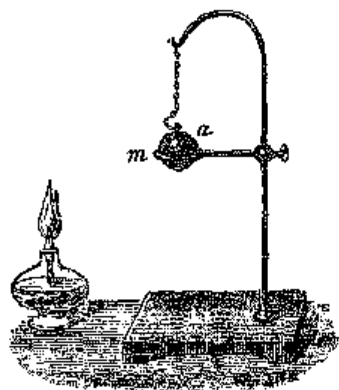


Рис. 16.

добный изображенному на рисункѣ 15 ( $E$  — подставка,  $MN$  — рычагъ работающій около  $F$ ,  $AB$  — резиновый прутъ (трубка),  $P$  — грузъ,  $H$  — указатель), и затѣмъ нагрѣть прутъ пламенемъ спиртовой лампочки  $L$ , быстро проводя низъ вверхъ и внизъ по пруту, то прутъ укоротится, и рычагъ перейдетъ въ положеніе, указанное пунктиромъ.



тѣла (рис. 17). Надо замѣтить, что различныя тѣла расширяются при нагреваніи различно. Такъ желѣзо, напримѣръ, удлиняется при нагреваніи отъ температуры замерзанія воды до температуры ея кипѣнія на 0,001225 своей первоначальной длины, мѣдь въ тѣхъ же предѣлахъ на 0,001722, серебро на 0,001910. Распиреніе нѣкоторыхъ тѣлъ, напримѣръ, сплавленнаго кварца и нѣкоторыхъ сортовъ стекла очень мало. Если бы мы вздумали препятствовать, напримѣръ, сжатію желѣзнаго или какого-нибудь другого прута при охлажденіи, то пришлось бы употребить страшное усиліе. Желѣзный прутъ

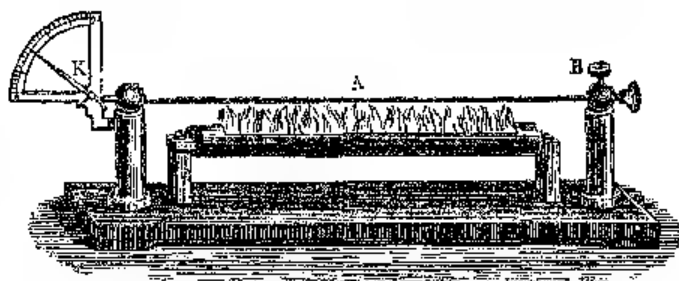


Рис. 17.

въ 6,25 кв. сант. (1 кв. дюймъ) толщиною при охлажденіи отъ температуры человѣч. тѣла до температуры замерзшей воды сжимается, такъ сказать, съ силой до 50.000 килограммовъ (около 3000 пудовъ); одно время этимъ свойствомъ пользовались для возстановленія покривившихся кирпичныхъ стѣнъ или трубъ: въ стѣны продѣвали толстыя желѣзныя полосы съ гайками на концахъ, раскаляли эти полосы до красна и навинчивали гайки вплоть до стѣнъ; когда полосы остыпуть, онѣ сдѣлаются короче и съ страшной силой подведутъ стѣну къ стѣнѣ. Поэтому понятно, почему между желѣзнодорожными рельсами приходится оставлять промежутки (зимой *рельсовая дорога* отъ Петербурга до Москвы

на 250 сажень короче лѣтней) <sup>1)</sup>. — Благодаря неодинаковому расширенію различныхъ тѣлъ при нагреваніи до одной и той же температуры, происходитъ растрескиваніе гранита, порфира и другихъ горныхъ породъ, состоящихъ изъ скопленія различныхъ минераловъ. Эти растрескиванія влекутъ за собой въ концѣ-концовъ полное разрушеніе такихъ породъ. Жидкости расширяются отъ нагреванія больше твердыхъ тѣлъ, при чемъ, конечно, различные жидкости обладаютъ этой способностью въ различной степени. Если взять небольшую колбочку, наполнить ее доверху окрашенной водой и потомъ втиснуть въ нее пробку съ вставленной трубкой, то жидкость, конечно, поднимется въ трубкѣ. Если такой нехитрый приборъ опустить въ теплую воду, то сначала уровень жидкости въ трубкѣ понизится (расширится отъ нагреванія колбочка), а потомъ подыдется на значительную высоту. Газы расширяются еще больше жидкостей: если взять узкую пробирку, налить на дно ея немного окрашенной жидкости и плотно закупорить пробирку пробкой, чрезъ которую пропущена трубка до самаго дна пробирки, то у насъ получится очень чувствительный приборъ (хорошо вдунуть чрезъ открытый конецъ трубки нѣсколько воздуха въ пробирку, тогда жидкость, конечно, поднимется въ трубкѣ, и ее удобнѣе будетъ наблюдать); стоитъ только взять его въ руку, какъ жидкость въ трубкѣ начнетъ быстро подниматься; охладивъ его, отнимая руку, мы заставимъ жидкость опуститься до нижняго уровня. Нельзя умолчать о томъ замѣчательномъ фактѣ, что *все газы (при достаточномъ разрыхленіи) расширяются при нагреваніи одинаково*, а именно на  $\frac{100}{273}$  своего объема, при нагреваніи отъ температуры замерзанія

<sup>1)</sup> На одинъ градусъ желѣзо удлиняется на 0,000012 своей длины: разница температуры зимой и лѣтомъ *на поверхности почвы* бываетъ больше 80° C, скажемъ 70°. Длина пути круглымъ счетомъ 300000 саж. (600 верстъ):  $0,000012 \times 70 \times 300000 = 252$ .

воды до температуры ея кипѣнія. Значить, если у насъ было 1000 куб. сантим. какого-нибудь газа при температурѣ замерзанія воды, то при указанномъ нагреваніи, если давленіе не измѣнилось, онъ займетъ объемъ въ 1866,5 куб. сантиметра. Пользуясь этими свойствами жидкостей и газовъ, можно устроить очень точные и чувствительные приборы — термометры для измѣренія температуры. Первый термометръ, позволявшій хотя бы приблизительно сравнивать температуры различныхъ тѣлъ, былъ придуманъ въ 1593 году знаменитымъ Галилеемъ. Его приборъ состоялъ изъ стекляннаго шарика величиною съ куриное яйцо, къ которому была припаяна трубочка толщиною въ соломинку и длиною въ двѣ четверти. Шарикъ нагревали рукой и опускали трубочку въ воду или вино. Воздухъ охлаждался и сжимался при этомъ, и въ трубочку входилъ небольшой столбикъ жидкости, который служилъ указателемъ. Галилей раздѣлилъ трубочку своего прибора на сто частей и получилъ такимъ образомъ нѣчто въ родѣ воздушнаго термометра. Замѣчательно, что современникъ Галилея — падуанскій профессоръ-медикъ Сакторіусъ — пользовался такимъ термометромъ для измѣренія температуры у лихорадящихъ больныхъ. Въ 1654 году мы уже находимъ описаніе настоящаго термометра, наполненнаго спиртомъ, съ маленькимъ шарикомъ и запаянной и раздѣленной трубочкой. Крайними точками первыхъ термометровъ были сначала наиболѣе низкая температура зимы и наиболѣе высокая — лѣта, потомъ — температуры человѣческаго тѣла и смѣси снѣга съ солью. Дѣленія на трубкѣ составляли извѣстныя доли резервуара: нятисотыя, тысячныя и даже десяти-тысячныя. Когда Гукъ (въ 1665 году) доказалъ, что ледъ таетъ всегда при одной температурѣ, стали примѣнять „точку талія льда“. Почти въ то же время Гюйгенсъ обратилъ вниманіе изслѣдователей на постоянство точки кипѣнія воды. Далансе (1688) предложилъ дѣлить пространство между постоянными точками на разныя части. Особенно много

усовершенствованій въ технику устройства термометровъ ввелъ Фаренгейтъ (1721). Обыкновенные ртутные или спиртовые термометры состоятъ изъ резервуара (шарика), отъ котораго идетъ длинная трубка, раздѣленная на части равной емкости (рис. 18а 18). Для раздѣленія на градусы тер-

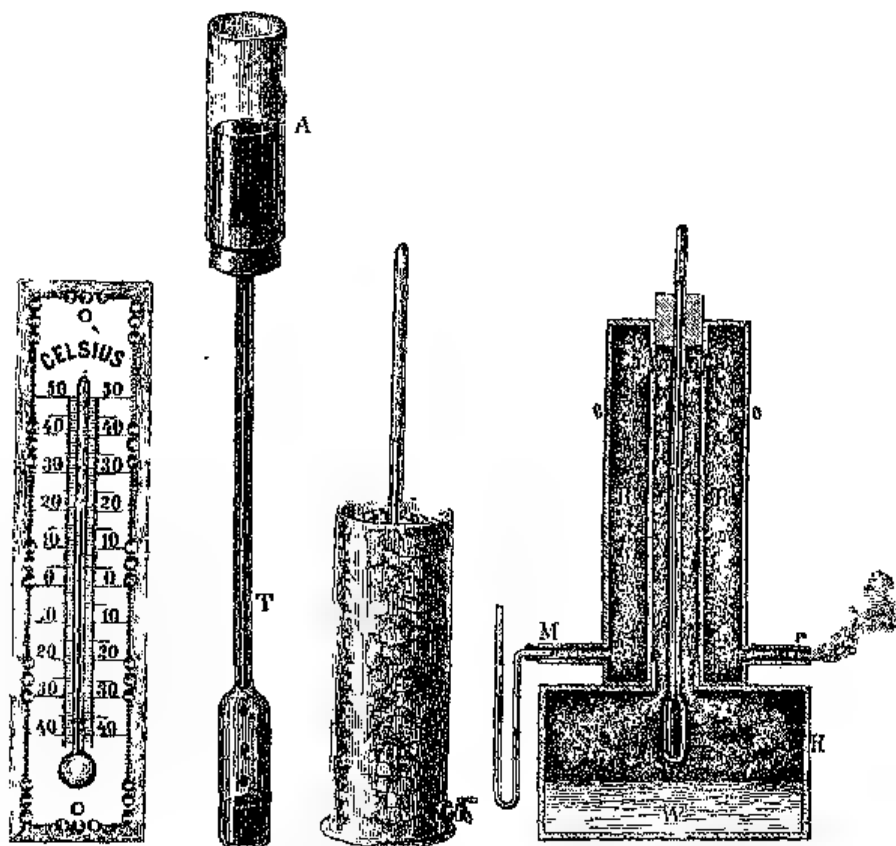


Рис. 18 а.

Рис. 18.

Рис. 19.

Рис. 20.

мометръ погружаютъ въ чистый тающій мелкоиздробленный ледъ; мѣсто, гдѣ остановится жидкость, отмѣчается цифрою 0 у Реомюра и Цельзуса, и 32 у Фаренгейта (рис. 19). Затѣмъ приборъ помѣщаютъ въ особенный сосудъ, въ которомъ кипитъ вода, тоже чистая, такъ что весь термометръ отъ шарика и почти до края окруженъ горячимъ паромъ (рис. 20).

Быстро поднимающаяся ртуть (спиртъ нельзя брать, такъ какъ онъ закипаетъ раньше воды) скоро останавливается, и на этомъ мѣстѣ у Реомюра поставлено  $80^{\circ}$ , у Цельзія  $100^{\circ}$ , у Фаренгейта  $212^{\circ}$  (рис. 21). Пространство между точкой замерзанія и точкой кипѣнія дѣлать на 80, 100 и 180 равныхъ частей и продолжаютъ эти дѣленія ниже и выше точки за-

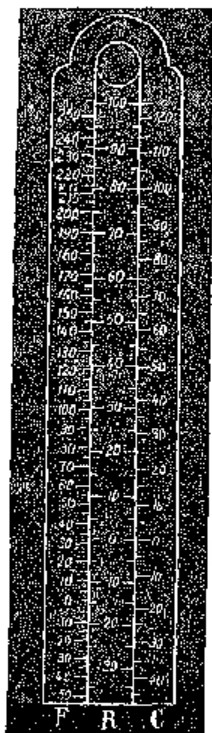


Рис. 21.

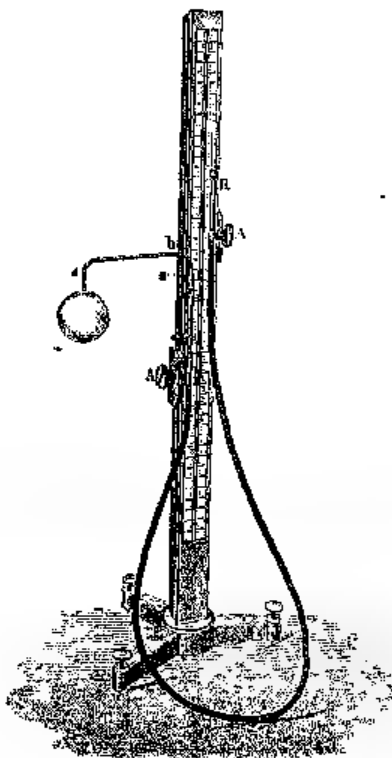


Рис. 22.

мерзанія. Такимъ образомъ получается готовый термометръ. Въ наукѣ принято пользоваться стоградусной шкалой (Цельзія), которая въ большомъ ходу почти во всѣхъ странахъ Западной Европы; у насъ больше употребляютъ термометры Реомюра (медицинскій, однакожь, Цельзія), а въ Англіи, Сѣв. Америкѣ и въ другихъ странахъ, заселенныхъ англичанами, Фаренгейта. Сравнивать показанія различныхъ термометровъ очень легко,

такъ какъ 4 градуса Реомюра ( $R$ ) равны 5 градусамъ Цельзія ( $C$ ) и 9 градусамъ Фаренгейта ( $F$ ). Въ послѣднемъ случаѣ не надо забывать вычитать  $32^{\circ}$ , если переводимъ показанія термометра Фаренгейта въ градусы Цельзія или Реомюра, и прибавлять  $32^{\circ}$ , если мы переводимъ другія шкалы въ градусы Фаренгейта. Напримѣръ,  $50^{\circ}C = \frac{4}{5} \times 50 = 40^{\circ}R =$   
 $= \left( 50 \times \frac{9}{5} \right) + 32^{\circ} = 122^{\circ}F$ . Такъ какъ расширеніе ртути, спирта, воды и другихъ жидкостей неравномѣрно <sup>1)</sup>, то для точныхъ термометровъ пользуются шкалой воздушнаго или, что лучше всего, *водороднаго* термометра (рис. 22). Устройство его основано на томъ, что газы расширяются очень равномѣрно съ повышеніемъ температуры; если не позволять газу расширяться, приводя его всякій разъ къ прежнему объему, то по увеличенію давленія (при одной и той же температурѣ объемъ газа обратно пропорціоналенъ давленію) можно судить о его объемѣ, а, слѣдовательно, и о температурѣ <sup>2)</sup>. Все хорошіе и точные термометры провѣряются по водородному термометру. Употребленіе термометра основано на

1) Это видно очень ясно при сравненіи „коэффициентовъ расширеній“ тѣлъ, т.-е. величинъ прироста на единицу длины, поверхности или объема при нагреваніи на  $1^{\circ}$ , для различныхъ промежуточныхъ температуры. Первые термометры были градуированы именно такимъ образомъ, что въ шарикѣ помѣщался опредѣленный объемъ жидкости, а на трубкѣ наносились черты, отвѣчающія  $\frac{1}{1000}$ ,  $\frac{2}{1000}$  и т. д. первоначальнаго объема. Отсюда и цифра  $80^{\circ}$  у Реомюра. Ясно, что градусы отвѣчали различнымъ промежуткамъ температуры

2) Если продолжить дѣленія ниже  $0^{\circ}$ , то они будутъ выражать постепенное уменьшеніе упругости (давленія) газа при охлажденіи. При  $273^{\circ}C$  эта упругость дѣлается равной нулю. Поэтому— $273^{\circ}$  (величина обратная коэффициенту расширенія газовъ  $\frac{1}{273}$ ) считается *абсолютнымъ нулемъ*. Эта величина ( $-273^{\circ}$ , получается на основаніи изученія и другихъ свойствъ газовъ. Температура, считаемая отъ абсолютнаго нуля, называется „абсолютной температурой“. Числовое ея значеніе на  $273^{\circ}$  больше температуры, выраженной въ градусахъ Цельзія. Вода кипитъ при  $373^{\circ}$  абсолют.

Давленіе какого-нибудь количества газа при одномъ и томъ же объемѣ прямо пропорціонально его абсолютн. температурѣ.

томъ, что болѣе теплое тѣло, соприкасаясь съ болѣе холоднымъ, отдаетъ ему часть тепла и такимъ образомъ нагреваетъ его, заставляя расширяться. Если тѣло холоднѣе термометра, то, наоборотъ, термометръ отдаетъ ему свое тепло, охлаждаясь. Такимъ образомъ, если нѣсколько тѣлъ находятся долгое время въ соприкосновеніи другъ съ другомъ или находятся вблизи другъ отъ друга (въ воздухѣ или въ пустотѣ безразлично), то чрезъ нѣкоторое время все они будутъ имѣть одинаковую температуру. Однакоже, если мы беремъ въ руки металлическій предметъ, то онъ намъ кажется холоднѣе деревяннаго. Исслѣдуя ближе это явленіе, мы находимъ, что оно зависитъ отъ большей или меньшей скорости *передачи тепла* отъ одной части тѣла къ другой, такъ что желѣзо намъ кажется холоднѣе дерева именно оттого, что оно лучше *проводитъ тепло* <sup>1)</sup>.

Стекло, дерево, шелкъ, бумага проводятъ тепло очень плохо, т.-е. чрезвычайно медленно передаютъ его; металлы, напримѣръ, золото, серебро, мѣдь, желѣзо и т. д. проводятъ тепло хорошо, но далеко не одинаково. Если взять двѣ палочки, одну мѣдную, а другую желѣзную и прикоснуться къ нимъ воскомъ на нѣкоторыхъ разстояніяхъ полоски бумаги, то при нагреваніи палочекъ съ одного конца мы замѣтимъ, что съ мѣдной палочки бумажки будутъ отпадать быстро одна за другой, а съ желѣзной гораздо медленнѣе. Если положить серебряную ложку въ стаканъ съ горячей водой, то чрезъ нѣсколько минутъ мы уже не сможемъ

---

<sup>1)</sup> Когда мы беремъ въ руки желѣзную холодную палочку, то теплота нашей руки нагреваетъ сначала то мѣсто, за которое мы держимъ предметъ; потомъ тепло отъ этого нагрѣтаго мѣста передается другимъ частямъ палочки, такъ что нагрѣтая часть теряетъ тепло, и мы снова держимъ въ рукѣ какъ бы холодное тѣло, которое опять отнимаетъ тепло отъ руки. Въ деревѣ этой быстроты передачи тепла нѣтъ, и поэтому теплота нашей руки согреваетъ только ту часть деревяннаго предмета, которой мы касаемся. Отъ этого и получается впечатлѣніе болѣе теплаго тѣла.

взять ее, настолько она разогрѣется, а платиновую пластинку вдвое короче ложки можно раскалить докрасна съ одного конца, и держать ее спокойно въ рукѣ за другой.

Изъ прилагаемой таблицы видна сравнительная теплопроводность различныхъ твердыхъ тѣлъ. (Таблица V.) Холодные стеклянные сосуды растрескиваются, когда въ нихъ разомъ наливаютъ горячей воды, вслѣдствіе плохой теплопроводности стекла: *верхній* слой нагревается и расширяется отъ этого; внутренніе же слои остаются холодными и не расширенными, отчего и происходитъ разрывъ. Трубки и посуда изъ сплавляемаго кварца не лопаются, если даже раскалить ихъ и быстро бросить въ холодную воду; при малой теплопроводности они обладаютъ весьма малымъ коэффициентомъ расширения, такъ что нагреваніе, даже очень сильное, не вызываетъ натяженія внутри такого стекла. Что касается жидкостей, то они (за исключеніемъ жидкаго металла ртути) проводятъ тепло весьма плохо: можно кипятить воду въ верхнемъ концѣ пробирки, спокойно держа ее

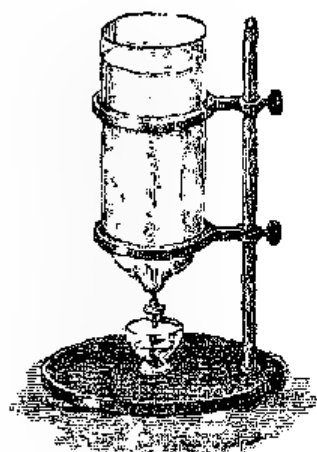


Рис. 23.

за нижній конецъ. Конечно, если мы станемъ нагревать воду или другую какую-либо жидкость снизу, то здѣсь не можетъ быть рѣчи о теплопроводности, такъ какъ нижніе слои жидкости, расширяясь отъ нагреванія, дѣлаются легче и поднимаются кверху, отдавая полученное ими тепло верхнимъ, еще холоднымъ слоямъ. Это движеніе легко видѣть въ широкой трубкѣ, въ которой плаваютъ мелкія древесныя опилки. Трубка подогревается снизу (см. рисунокъ 23). Точно такъ же, если мы станемъ охлаждать жидкость сверху, то верхніе болѣе тяжелые слои будутъ опускаться книзу. Если мы имѣемъ дѣло съ водой, то при этомъ наблюдается весьма



поразительное явление: вода, охлаждаясь, мало-по-малу дѣлается тяжеле и опускается книзу; но если ея температура дошла до  $4^{\circ}C$ , то дальнѣйшее пониженіе температуры не влечетъ за собой сжатія (см. стр. 46), такъ что болѣе холодная вода остается на поверхности. Значить, замерзаніе рѣкъ, озеръ и т. д. начинается съ поверхности, и если мы примемъ во вниманіе, что ледъ легче воды (вода, замерзая, сильно расширяется), то мы легко поймемъ, почему уцѣлѣли и остались въ живыхъ тѣ организмы, которые приспособились къ условіямъ жизни въ жидкой водѣ. Газы принадлежатъ къ числу самыхъ плохихъ проводниковъ тепла; однако, благодаря чрезвычайной подвижности ихъ частицъ, попадались очень сложные приборы и точныя наблюденія, чтобы установить этотъ фактъ и сравнить между собой теплопроводности различныхъ газовъ. Въ самомъ дѣлѣ, газы сильно расширяются при нагреваніи, значить, ихъ плотность сильно измѣняется и мы сейчасъ же получаемъ восходящіе токи нагрѣтыхъ газовъ. Газъ, заключенный въ непроницаемую оболочку въ воздушныхъ шарахъ монгольскаго типа, на которыхъ поднимались когда-то люди и которые въ настоящее время представляютъ только дѣтскую игрушку, тяга въ печи или въ высокой фабричной трубѣ, движенія большихъ массъ воздуха вверхъ подъ экваторомъ, отъ которыхъ зависитъ круговоротъ воздуха на земномъ шарѣ, — все это подтверждаетъ только что сказанное нами. Съ другой стороны, воздухъ, заключенный между двойными зимними рамами или между волокнами хлопчатой бумаги, или волосками мѣха, въ значительной мѣрѣ лишается своей подвижности, и поэтому всѣ эти гѣла, т.-е., другими словами, заключенный въ нихъ воздухъ, являются самыми плохими проводниками тепла. На этомъ свойствѣ воздуха, значить, и основано ихъ употребленіе для защиты отъ холода. Что одни газы проводятъ тепло лучше другихъ, можно убѣдиться, продѣлавъ слѣдующій, правда, не особенно простой, опытъ: между двумя толстыми мѣдными

проводами протягивают тонкую платиновую проволоку. Проволоки располагаются вертикально. Къ концамъ проволоки проводимъ электроды отъ батареи, включивъ въ нее нѣкоторое сопротивленіе. Увеличивая сопротивленіе, мы можемъ настолько ослабить силу тока, что наша платиновая проволока будетъ еле замѣтно свѣтиться. Надвинемъ на нее стаканъ, наполненный водородомъ, и проволока сейчасъ же перестанетъ свѣтиться <sup>1)</sup>: тѣло, которое настолько медленно передавалось воздуху, что проволока могла оставаться накаленной, быстро отнимается водородомъ <sup>2)</sup>, и проволока, слѣдовательно, быстрѣе охлаждается и, конечно, перестаетъ свѣтиться.

Не надо думать, однако, что для передачи тепла отъ одного тѣла къ другому необходимо непосредственное ихъ соприкосновеніе. Сколько-нибудь внимательное изученіе передачи тепла указываетъ намъ, что есть еще и другой способъ этой передачи, а именно *лучеиспусканіе*. Когда мы смотримъ на кучу раскаленныхъ углей, то отъ нихъ идетъ жаромъ, но стоитъ только закрыться хотя бы листкомъ тонкой бумаги, какъ это ощущеніе жара исчезаетъ. Накаленная плита (темная), хотя и не свѣтитъ, но все-таки грѣетъ на разстояніи, при чемъ, что очень характерно, она грѣетъ нашу руку даже и тогда, когда она находится подъ нею: все, что мы знаемъ о нагрѣваніи воздуха, показываетъ намъ, что, вслѣдствіе непосредственной передачи тепла, оно направлялось бы къверху. Если взять круглодонную колбу, закрыть ея отверстіе каучуковой пробкой съ двумя отверстіями, въ одно изъ которыхъ вставленъ термометръ съ законченнымъ резервуаромъ, а въ другое —

<sup>1)</sup> Если это не удастся сразу, надо еще больше увеличить сопротивление и снова надѣть стаканъ съ водородомъ на проволоку. После одной-двухъ пробъ мы найдемъ подходящую для опыта силу тока. Замѣтимъ, что въ этомъ явленіи играетъ важную роль и *теплоемкость* водорода, которая значительно больше теплоемкости воздуха.

<sup>2)</sup> Водородъ почти въ 7 разъ лучше проводитъ тепло, чѣмъ воздухъ.

отводящая трубка съ зажимнымъ крапомъ (рис. 24), и выкачать изъ нея воздухъ насосомъ, то при помощи этого прибора легко убѣдиться, что для передачи тепла нагрѣтымъ тѣламъ, не свѣтящимся при этомъ, нѣтъ надобности въ вѣсомой передаточной средѣ: стоитъ опустить эту колбу нижней частью въ горячую воду, какъ термометръ сойчасъ же начнетъ повышаться. Этотъ простой опытъ дѣлаетъ для насъ понятнымъ тотъ фактъ, что тепловые лучи, идущіе къ намъ отъ раскаленной солнечной массы, проходятъ невѣроятно огромное (около 140 милліоновъ верстъ) пространство, не заполненное вѣсомымъ веществомъ. Что эти лучи не связаны со свѣтомъ, можно видѣть на примѣрѣ нагрѣванія на разстояніи *темными предметами*, а также изъ того наблюденія, что нѣкоторыя жидкости, напр., растворъ іода въ сѣроуглеродѣ, являясь совершенно непрозрачными для свѣта (онѣ тогда кажутся почти черными), прекрасно пропускаютъ лучи тепла, которые можно собрать зеркаломъ или зажигательнымъ стекломъ и зажечь ими что-нибудь. Отраженія отъ зеркалъ или преломленіе въ зажигательныхъ стеклахъ указываетъ намъ на то, что эти тепловые невидимые лучи при своемъ прохожденіи чрезъ различныя тѣла подчиняются тѣмъ же законамъ, какъ и видимыя — свѣтовые. Надо замѣтить, что воздухъ очень хорошо пропускаетъ тепловые лучи, мало нагрѣваясь при этомъ. Присутствіе водяныхъ паровъ въ воздухѣ увеличиваетъ его способность поглощать тепловые лучи, такъ что воздухъ при этомъ нагрѣвается больше. Обыкновенно же воздухъ нагрѣвается путемъ теплопроводности отъ нагрѣтой земли

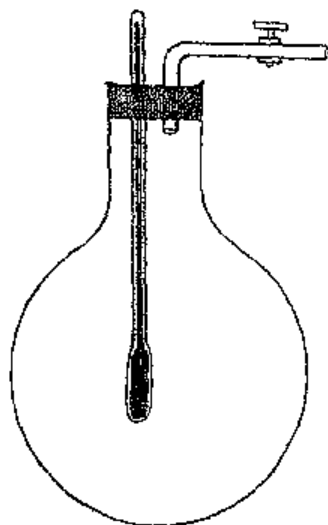


Рис. 24.

вѣроятно огромное (около 140 милліоновъ верстъ) пространство, не заполненное вѣсомымъ веществомъ. Что эти лучи не связаны со свѣтомъ, можно видѣть на примѣрѣ нагрѣванія на разстояніи *темными предметами*, а также изъ того наблюденія, что нѣкоторыя жидкости, напр., растворъ іода въ сѣроуглеродѣ, являясь совершенно непрозрачными для свѣта (онѣ тогда кажутся почти черными), прекрасно пропускаютъ лучи тепла, которые можно собрать зеркаломъ или зажигательнымъ стекломъ и за-

жечь ими что-нибудь. Отраженія отъ зеркалъ или преломленіе въ зажигательныхъ стеклахъ указываетъ намъ на то, что эти тепловые невидимые лучи при своемъ прохожденіи чрезъ различныя тѣла подчиняются тѣмъ же законамъ, какъ и видимыя — свѣтовые. Надо замѣтить, что воздухъ очень хорошо пропускаетъ тепловые лучи, мало нагрѣваясь при этомъ. Присутствіе водяныхъ паровъ въ воздухѣ увеличиваетъ его способность поглощать тепловые лучи, такъ что воздухъ при этомъ нагрѣвается больше. Обыкновенно же воздухъ нагрѣвается путемъ теплопроводности отъ нагрѣтой земли

или воды: въ этомъ каждый можетъ легко убѣдиться въ жаркій день по струйкамъ или движенію надъ землею; струйками подымается нагрѣтый воздухъ, сдѣланный отъ расширенія болѣе легкимъ. Если этому поднятію что-либо мѣшаетъ, такъ что вдоль поверхности земли располагается тонкій слой болѣе легкаго воздуха, то вслѣдствіе особаго хода свѣтовыхъ лучей въ этомъ случаѣ часто наблюдается *миражъ* или *марессо*. Въ нашихъ южныхъ степяхъ это явленіе очень часто, но говоря уже о большихъ песчаныхъ пустыняхъ. — Способность воздуха, содержащаго водныя пары, сильнѣе поглощать тепло имѣетъ громадное значеніе для распредѣленія тепла на земной поверхности. Громадныя воздушныя массы, проходя подъ теплымъ гольфштремомъ, поглощаютъ много паровъ воды и, благодаря этому обстоятельству, могутъ сильнѣе нагрѣваться солнцемъ. Вслѣдствіе этого и происходитъ, напр., то, что климатъ Англіи мягче и равномѣрнѣе климата южной Россіи.

Продолжая изученіе тепловыхъ явленій, мы наталкиваемся на одинъ весьма замѣчательный фактъ: если взять, напримѣръ, нѣсколько сосудовъ съ одинаковымъ количествомъ воды одинаковой температуры и погрузить въ каждый изъ нихъ опять-таки *равныя тѣла*, но *различныхъ тѣлъ одинаковой температуры*, то окажется, что *температура* воды въ этихъ сосудахъ *неодинаковая*. То же будетъ, если мы возьмемъ одинаковые объемы тѣлъ. Это значитъ, что разныя тѣла при равномъ вѣсѣ для одинаковаго повышенія температуры требуютъ различнаго нагрѣванія. Убѣдиться въ этомъ можно при помощи слѣдующихъ опытовъ: на пластинку изъ обыкновеннаго воска кладутъ шары одинаковаго объема, но выточенные изъ различныхъ металловъ. Шары предварительно нагрѣваютъ до  $180^{\circ}\text{C}$  въ масляной банѣ. Окажется, что желѣзный шаръ первымъ пройдетъ чрезъ пластинку, за нимъ мѣдный, потомъ цинковый и оловянный; свинцовый и висмутовый погрузятся въ воскъ только до половины. Второй опытъ проще: въ два

стакана отмѣриваемъ мензуркой равныя количества воды комнатной температуры (градусовъ 15°С., положимъ по 50 куб. сант. Въ двухъ пробиркахъ отмѣряемъ равные объемы ртути и воды (положимъ по 25 куб. сант.) и поставимъ обѣ пробирки въ чашку съ кипящей водой. Черезъ нѣкоторое время, когда можно быть увѣреннымъ (минуть черезъ 5—10), что обѣ пробирки прогрѣлись, вливаемъ ихъ содержимое въ наши стаканы и мѣряемъ температуру. Въ стаканѣ, въ который влили воду, температура будетъ около 40°, а въ томъ, гдѣ ртуть,—всего 12°. Если мы вспомнимъ, что ртуть въ 13,6 раза тяжеле воды, то придемъ къ заключенію, что *одинъ килограммъ воды* при 100° можетъ при нагреваніи другого тѣла замѣнить около *30 килограммовъ ртути* при той же температурѣ. Подобные опыты производились надъ цѣлымъ рядомъ тѣлъ—нѣтъ, кажется, ни одного твердаго, жидкаго или газообразнаго тѣла, надъ которымъ не производились бы подобные опыты, и оказалось, что *теплоемкость тѣлъ* весьма различна. Наибольшей теплоемкостью отличаются водородъ и вода. На прилагаемой таблицѣ VI ясно видно это разнообразіе. Но какъ же объяснить себѣ это явленіе? На первый взглядъ можно вполне опредѣленно сказать: количество теплоты, заключающееся въ равныхъ вѣсахъ различныхъ тѣлъ, различно при одной

женіемъ: какъ примѣръ, можно привести хотя бы представленіе о томъ, что эта жидкость легко переливается изъ гѣлъ, гдѣ ея много (теплыхъ), въ такіе, гдѣ ея мало (въ холодныхъ); появляясь въ большемъ количествѣ въ порѣхъ тѣла, она, конечно, заставляетъ тѣла расширяться; теплоту разныхъ температуръ сравнивали съ водой, находящейся на разныхъ высотахъ и т. д. Словомъ, предположеніе было ясное, простое и понятное. Однакоже, болѣе внимательное отношеніе къ фактамъ заставляетъ усомниться въ удобствѣ этой гипотезы. Известно, что при сильномъ внезапномъ сжатіи тѣла сильно нагрѣваются: кусокъ холоднаго желѣза, положенный на холодную же наковальню, раскалется подъ быстрыми ударами молота у опытныхъ и лозкихъ молотобойцевъ; если сгибать взадъ и впередъ желѣзную проволоку, то она сильно накаливается въ мѣстѣ сгиба; артиллерійскій снарядъ, попавшій въ броню военнаго судна, накаляется. Одно время (кажется, въ 1889 году) было въ больномъ ходу у курящихъ „воздушное огниво“: въ толсто-стѣнную стеклянную трубку съ узкимъ провѣтомъ туго входилъ поршень, къ концу котораго прикрѣплялся кусочекъ трута; ударяя сильно по рукояткѣ поршня, сильно сжимали воздухъ, который при этомъ раскаливался и зажигалъ трутъ<sup>1)</sup>. Отчего же происходятъ все эти явленія, если теплота—жидкость, при чемъ въ каждомъ тѣлѣ при опредѣленной температурѣ помѣщается вполнѣ опредѣленное количество этой жидкости? Конечно, очень просто: при сжатіи, крученіи, сильномъ ударѣ мы сжимаемъ тѣло, стало-быть, „тепловая жидкость“ выжимается изъ поръ тѣла, какъ выдавливается вода при сжатіи влажной губки. Все это было бы очень хорошо, если бы не было

---

1) Вычисленіе показываетъ, что при быстромъ сжатіи воздуха до половины его первоначальнаго объема температура его повышается съ  $15^{\circ}\text{C}$  до  $109^{\circ}\text{C}$ ; если сжать до  $\frac{1}{10}$  первонач. объема, то температура съ  $15^{\circ}\text{C}$  поднимается до  $567^{\circ}$ . Отсюда видно, что при такомъ сжатіи легко зажечь трутъ.

выдѣленія теплоты при треніи и сверленіи. Близко при-  
сматриваясь къ сверленію пунки въ Мюнхейскомъ арсеналѣ  
въ 1798 году, графъ Ремфордъ замѣтилъ, что при этомъ  
процессѣ выдѣляется много тепла. Предполагалось, что это  
тепло выдѣляется только оттого, что теплосмѣстность оныхъ  
меньше теплосмѣстности сплошнаго металла. Сдѣланъ былъ  
повѣрочный опытъ опредѣленія теплосмѣстности, и оказалось,  
что она въ этихъ случаяхъ не мѣняется. Мало того, Г. Деви  
убѣдился, что если тереть два куска льда другъ о дружку  
въ пространствѣ съ температурой  $0^{\circ}$ , то въ результатѣ  
получается много воды, а вода обладаетъ вдвое большей  
теплосмѣстностью, чѣмъ ледъ (см. таблицу). Кромѣ того, тотъ  
же Ремфордъ нашелъ, что при сверленіи количество выдѣ-  
ляющаго „теплорода“ не ограничено: чѣмъ дольше сверлить,  
тѣмъ теплѣе становится окружающая аппаратъ жидкость.

Что при треніи вслѣдствіе сжатія могла выдѣляться теп-  
лота, это было вполне понятно, но фактъ, что количество  
этой теплоты возрастало и возрастало, уже не согласовался  
съ гипотезой. Въ „запискѣ“ Ремфорда по этому поводу мы  
ясно видимъ, какъ онъ ждалъ, что вотъ-вотъ прекратится  
нагрѣваніе, и отмѣчалъ чрезъ короткіе промежутки времени  
подъемъ температуры воды въ большомъ деревянномъ ящикѣ,  
въ которомъ стоялъ сверлильный аппаратъ. Мы ясно чувству-  
емъ въ послѣднихъ строкахъ его замѣтки, что онъ почти от-  
казался отъ представленія о теплотѣ, какъ о невѣсомой жид-  
кости, и замѣнилъ его представленіемъ о движеніи. Опытъ  
Ремфорда въ нѣсколько измѣненномъ видѣ можно произвести  
такимъ образомъ: небольшая мѣдная трубочка наполняется  
весьма летучей жидкостью — эфиромъ и закрывается проб-  
кой. Трубочку эту охватываютъ широкими деревянными  
клещами и быстро вращаютъ при помощи приспособленія,  
указаннаго на рисункѣ (см. рис. 25). Чрезъ нѣсколько  
минутъ эфиръ закипаетъ, и образовавшіеся пары съ тре-  
скомъ выбрасываютъ пробку. Собственно говоря, едва ли  
нужно производить этотъ опытъ, такъ какъ каждый знаетъ,

какъ горятъ несмазанныя оси или какъ добываютъ огонь („живой огонь“ у насъ въ глухихъ мѣстахъ во время эпизоотіи) дикари, быстро вращая твердую палку въ кускѣ сухого мягкаго дерева. Въ 1842 году появилась статья *Роберта Майера*, въ которой впервые ясно и опредѣленно было высказано предположеніе, что *теплота есть родъ движенія*, и что тамъ, гдѣ исчезаетъ движеніе, появляется теплота. Это предположеніе было вызвано, повидимому, размышленіями по поводу повсѣдневнаго наблюдаемаго явленія: какъ Ньютона натолкнуло на мысль о всеобщемъ тяготѣніи упавшее яблоко, Галилей открылъ законы качанія маятника,

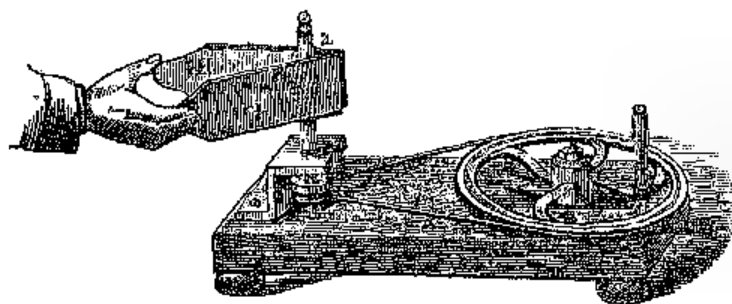


Рис. 25.

пораженный правильными размахами висящей люстры, такъ и Р. Майера навело на размышленія о близкомъ сходствѣ движенія и теплоты соотношеніе между жаромъ и нулемъ лихорадочныхъ больныхъ: онъ былъ врачомъ по профессіи. Важно было показать, что всякій разъ, когда исчезаетъ извѣстное количество движенія, появляется вполнѣ опредѣленное количество теплоты, и Р. Майеръ указалъ на одинъ изъ способовъ этого вычисленія, пользуясь извѣстнымъ уже тогда фактомъ, что свободно расширяющійся газъ требуетъ для нагрѣванія до извѣстной температуры въ 1,4 раза больше тепла, чѣмъ газъ, заключенный въ нерастяжимый сосудъ. Количество работы онъ мѣрилъ произведеніемъ высоты поднятія на грузъ, а те-



плоту — тѣмъ теплою, которое можетъ нагрѣть единицу вѣса воды на  $1^{\circ}$ . Вскорѣ послѣ него Джауль произвелъ цѣлый рядъ измѣреній (1843 — 1849) и нашелъ, что всегда, когда исчезаетъ 424 килограмметра (поднятіе 1 килограмма на 424 метра) появляется одна калорія (тепло, необходимое для нагрѣванія одного килограмма дистиллированной воды при  $14^{\circ}C$  на  $1^{\circ}C$ ), какимъ бы путемъ не совершался этотъ переходъ. Рисунокъ 26 передаетъ расположеніе приборовъ въ одномъ изъ его остроумно придуманныхъ и точнѣйшимъ образомъ произведенныхъ опытовъ. С сосудъ, въ

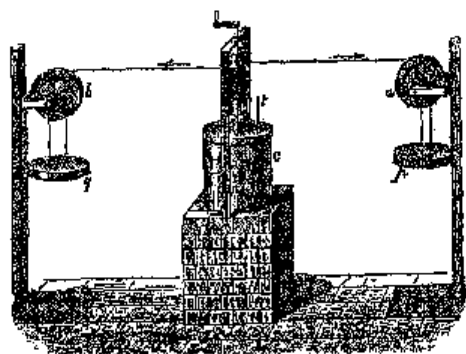


Рис. 26.

которомъ налита вода. Прикрѣпленные къ оси лопатки при вращеніи оси прогоняютъ воду между выступами стѣнокъ сосуда. Ось приводится въ движеніе гири  $p$  и  $q$ , которыя устроены такъ, что когда  $p$  опускается,  $q$  поднимается. Высота подъема измѣ-

ряется линейками. Подъемъ температуры измѣряется точнѣйшими термометрами. Джауль сжималъ газы, прогонялъ воду чрезъ узкія трубки, изучалъ треніе въ металлическихъ сосудахъ, изслѣдовалъ треніе металловъ другъ о дружку, измѣрялъ охлажденіе сжатого газа, выпускаемаго въ другой резервуаръ, вращалъ магнитъ около магнита, изучалъ нагрѣваніе проволоки электрическимъ токомъ и всегда получалъ величины для одной калоріи близкія къ 424 килограмметрамъ. Эту величину — 424 килограмметра называютъ *механическимъ эквивалентомъ теплоты*. Гирь, Пулуй, Эдмундъ, Микулеску, Дитеричи, Роуландъ — и многіе другіе цѣлыми сотнями самыхъ разнообразныхъ измѣреній подтвердили этотъ фактъ. *Движеніе переходитъ въ теплоту, и*

*теплота—въ движеніе*, — вотъ основаніе нашего представленія о теплотѣ. Гельмгольцъ, Клаузиусъ и другіе развили это простое положеніе въ стройную *механическую теорію тепла* или *термодинамику*, которая оказала необыкновенно большое вліяніе на ходъ изслѣдованій во всѣхъ областяхъ науки о природѣ.

Весьма характерно то обстоятельство, что представленіе о возможности устройства машины, которая бы создавала работу изъ ничего, т.-е. представленіе о возможности существованія такъ называемаго *вѣчнаго движенія* (*perpetuum mobile*) послѣ цѣлаго ряда безплодныхъ попытокъ было, наконецъ, оставлено, но мысль объ *эквивалентности* теплоты и работы еще не приходила въ голову ни одному изъ мыслителей-учеиныхъ. Но зато, когда появилась статья Р. Майера, какимъ могучимъ словомъ отвѣтилъ на нее Гельмгольцъ въ своей знаменитой „*Die Erhaltung der Kraft*“. Великій физикъ показалъ, что ко всѣмъ физическимъ процессамъ можно приложить принципъ эквивалентности различныхъ видовъ энергіи, и сразу ввелъ такимъ образомъ законъ сохраненія энергіи въ математической формѣ почти во всѣ отрасли физики.

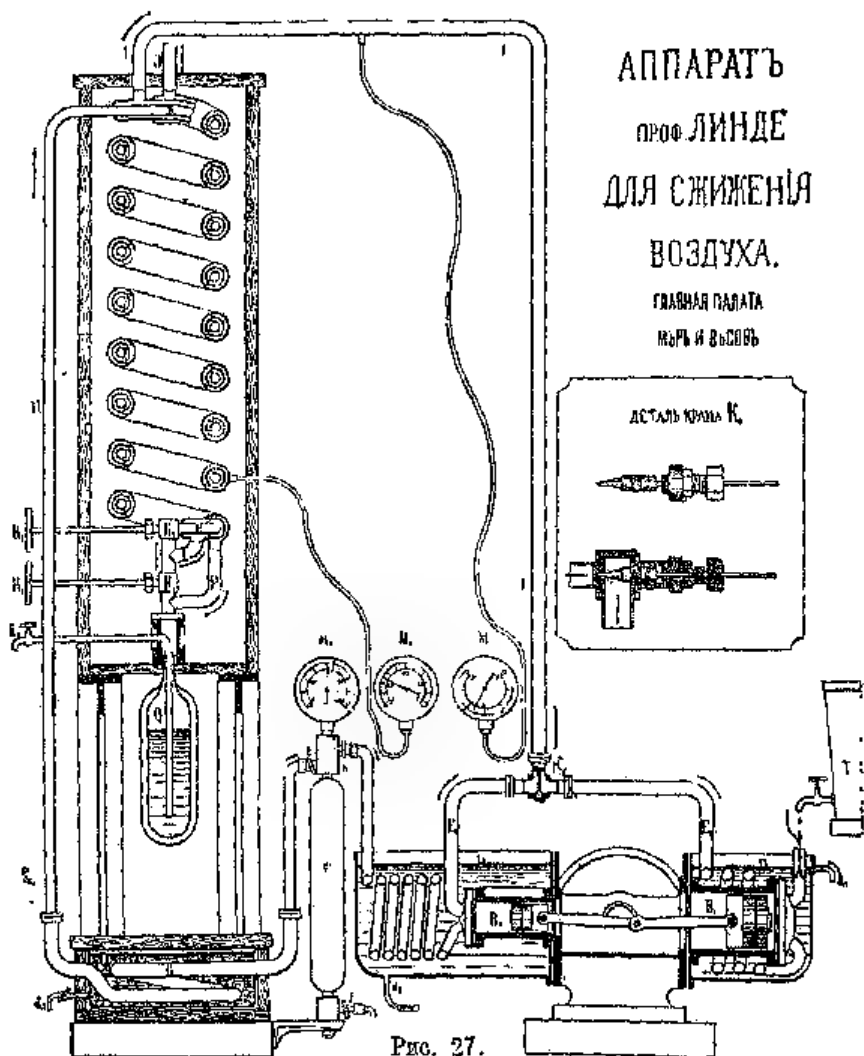
Для насъ важно пока то, что по этой теоріи разъ только видимое движеніе замедляется или останавливается, не вызывая при этомъ другихъ какихъ-нибудь видовъ энергіи, то оно переходитъ въ движеніе молекулярное, которое нашими органами воспринимается какъ ощущеніе теплоты. На пути быстро летящей свинцовой пули мы ставимъ преграду; движеніе ея прекращается, но не исчезаетъ совсѣмъ: пуля расплющивается и сильно нагревается. Значитъ, видимое для насъ движеніе *всей пули* перешло въ невидимое глазомъ, но познаваемое органами осязанія (температуры), молекулярное движеніе — тепловое. Колесо свободно вращается на хорошо смазанной оси; передвинемъ его на не-смазанную часть, и движеніе его сразу замедляется; въ то же время сильно нагревается ось и втулка колеса. Молоть

свободно летить въ воздухѣ; попадал на наковальню, онъ останавливается и вслѣдствіе этого нагревается самъ или нагреваетъ лежащую на наковальнѣ полосу желѣза. Переходъ кинетической энергіи движущагося тѣла въ теплоту постоянно наблюдается въ природѣ. Когда земной шаръ во время движенія вокругъ солнца пересѣкаетъ орбиты мелкихъ планетъ („персеиды“, „леониды“), то эти планетки цѣлыми роями устремляются на землю; попадая даже въ самые разрѣженные слои земной атмосферы, они вслѣдствіе тренія замедляютъ свое движеніе, которое и преобразуется въ теплоту, такъ что мы видимъ ихъ въ видѣ цѣлыхъ звѣздныхъ дождей, выходящихъ какъ бы изъ одной части неба. Теплота, развиваемая при этомъ, должна быть громадна, если принять во вниманіе скорость движенія этихъ тѣлъ. Скорость земли, напр., при движеніи вокругъ солнца равна приблизительно 29,5 километровъ (29,460 метровъ) въ секунду. Если бы земля внезапно остановилась, то развилось бы  $2017 \times 10^{28}$  калорій; этого тепла достаточно было бы, чтобы поднять температуру земли (пусть теплоемкость ея будетъ равна 1) до 84.000 градусовъ. Отсюда видно, какую массу тепловой энергіи передаютъ солнцу постоянно падающія на него небольшія небесныя тѣла.

Съ другой стороны мы видимъ, что если сжатый газъ выпускается въ воздухъ, газъ сильно охлаждается—ему приходится преодолевать давленіе окружающаго воздуха, совершить работу, тратить энергію, и онъ превращаетъ часть своего тепла въ работу, охлаждаясь, конечно, при этомъ. Если газъ выпускать въ пустоту, постоянно возобновляемую, и если бы газъ былъ „настоящій, идеальный газъ“, то, конечно, работы бы при этомъ не было бы, и газъ не охлаждался бы. Такъ, напр., дѣло обстоитъ съ водородомъ при температурахъ выше  $100^{\circ}$ . Но другіе газы не такъ близко по своимъ свойствамъ подходятъ къ идеальнымъ, и поэтому, расширяясь въ пустоту, они все-таки охлаждаются. Выше (стр. 61) мы привели примѣръ нагре-

ванія газа отъ быстрого сжатія; быстрое расширеніе, конечно, произведетъ обратный эффектъ, т.-е. понизитъ значительно температуру газа. Это пониженіе будетъ очень мало при расширеніи въ пустоту, но будетъ все-таки замѣтно. Чѣмъ холоднѣе газъ, тѣмъ больше онъ отступаетъ по своимъ свойствамъ отъ идеальнаго, и поэтому охлаждается при расширеніи безъ работы (въ пустотѣ) все больше и больше. Если устроить приборъ такимъ образомъ, что сухой воздухъ сначала будетъ сильно сжиматься, а потомъ снова расширяться въ пустоту (безъ работы), то температура его понизится. Представимъ себѣ, что это охлажденіе совершается въ трубкѣ очень длинной, внутри которой находится другая, тоже съ сжатымъ воздухомъ, при чемъ обѣ онѣ соединены съ однимъ и тѣмъ насосомъ, нагнетающимъ и разрѣжающимъ воздухъ. Охладится и внутренняя трубка съ воздухомъ, а слѣдовательно при его расширеніи безъ работы охлажденіе будетъ значительно сильнѣе, и въ свою очередь, вызываетъ большее охлажденіе внешней трубки. Повторимъ этотъ процессъ нѣсколько разъ и увидимъ, что можно достигнуть такой низкой температуры, что воздухъ сгустится въ жидкость съ температурой кипѣнія около — 200. Прилагаемый рисунокъ 27 показываетъ намъ въ схемѣ устройства машины Линде для приготовления жидкаго воздуха, который находитъ въ настоящее время массу примѣненій въ тѣхъ случаяхъ, когда необходимо работать при очень низкой температурѣ. Надо замѣтить (что читатели и видятъ, конечно, сами), что мы описали только принципъ машины Линде, а не самое ея устройство. Легкость полученія жидкаго воздуха и дешевизна его (въ Германіи, напр., литръ жидкаго воздуха стоитъ около 1 марки—коп. 45 на наши деньги; у насъ въ Москвѣ около 7 рублей) позволяетъ производить цѣлый рядъ удивительныхъ опытовъ; каучукъ въ немъ дѣлается (все эти явленія зависятъ только отъ низкой температуры) твердымъ и хрупкимъ, какъ стекло; керосинъ затвердѣваетъ,

нѣкоторыя химическія реакціи не происходятъ (натрій не реагируетъ со спиртомъ, кислоты не нейтрализуются щело-



чами) <sup>1)</sup>, почти всѣ газы (кромѣ весьма немногихъ) прямо превращаются въ жидкое и даже твердое состояніе; въ то

<sup>1)</sup> Въ видѣ исключенія можно привести реакцію со взрывомъ, происходящую при 18° абсолютной шкалы ( $-257^{\circ}$ ), а именно соединеніе жидкого водорода съ твердымъ фторомъ.

же время вата, смоченная жидкимъ воздухомъ (правильнѣе сказать, кислородомъ, и, ч. азотъ, смотр. ниже, скорѣе улетучивается изъ газовой смѣси, называемой воздухомъ), при зажиганіи вспыхиваетъ, какъ зажигательная питка (пироксидинъ), и т. д. (1) такихъ удобствахъ, какъ, напр., перевозка свѣжаго мяса изъ Австраліи въ Англію, или охлажденіи погребовъ, гдѣ происходитъ броженіе вина или пива, которыя значительно удешевились, благодаря изобрѣтенію машины Линде и ея усовершенствованію другими техниками, мы и не говоримъ даже. Возможно, что такой жидкій воздухъ можетъ сдѣлаться матеріаломъ для двигателей, и тогда откроется новая область для его примѣненія. Такимъ образомъ, и въ техникѣ и въ наукѣ сдѣлались доступными новыя области изслѣдованія, благодаря машинѣ Линде, которая представляетъ результатъ приложенія ученія о теплотѣ, какъ о скрытомъ движеніи, т.-е. построена на основаніи правилъ и законовъ термодинамики.

Но менѣе интересны и другія слѣдствія этой замѣчательной гипотезы. Что, кажется, можетъ быть проще и общезвѣстнѣй такихъ явленій, какъ замерзаніе жидкостей и ихъ обращеніе въ паръ, а между тѣмъ, какіе важные выводы можно сдѣлать на основаніи изученія ихъ съ точки зрѣнія термодинамики. Мы знаемъ, что очень многія твердыя тѣла при нагреваніи обрацаются въ жидкость, при этомъ замѣчательно то обстоятельство, что, пока существуетъ хотя бы очень небольшая часть нерасплавившагося тѣла (предполагая, конечно, что жидкость энергично перемѣшивается во время опыта), температура не повышается, какъ бы мы ни нагревали смѣсь жидкости и твердаго тѣла. Съ другой стороны, если мы стали охлаждать полученную жидкость, то, только разъ началось застываніе ея, температура все время держится на одной высотѣ. Выходитъ такъ, какъ будто бы твердое тѣло, плавясь, поглощаетъ тепло, а жидкость, застывая, выдѣляетъ его. Изслѣдуемъ ближе это явленіе. Для этого возьмемъ два узкихъ стаканчика и

нальемъ въ нихъ равные объемы очень теплой воды (градусовъ 50—60 C). Въ одинъ изъ нихъ бросимъ нѣсколько мелкихъ кусковъ льда (температура 0°); ледъ, конечно, растаетъ, и объемъ жидкости въ стаканѣ увеличится; тогда въ другой стаканчикъ нальемъ ледяной воды (температура ея тоже 0°), чтобы во второмъ стаканѣ оказалось столько же воды, сколько и въ первомъ. Измѣримъ температуру нашихъ стакановъ: въ первомъ она понизилась очень сильно (если взять льда приблизительно въ 5 разъ меньше, чѣмъ воды), а во второмъ всего на нѣсколько градусовъ. Ясное дѣло, что ледъ, плавясь, поглотилъ тепло <sup>1)</sup>. Точные опыты показали, что для превращенія одного килограмма льда при 0° въ воду при 0° столько тепла, сколько нужно для того, чтобы воду при 0° нагрѣть до 80° (приблизительно).

*Теплота плавленія* льда равна 80,02 калоріямъ. На что же тратится то тепло, которое не вызываетъ повышенія температуры? Отвѣтъ на это ясенъ: 1) вода, замерзая, увеличивается въ объемѣ, значитъ, ей приходится преодолевать давленіе атмосферы и такимъ образомъ затрачивать хотя и не большую, но все-таки замѣтную, работу, и 2) такъ какъ частички жидкости болѣе подвижны, то на приданіе имъ этой подвижности пойдетъ очень много тепла, и 3) много энергии пойдетъ на преодоленіе сдѣянія частицъ твердаго тѣла. Изъ таблицы VII видно, что большая часть тѣлъ обладаетъ сравнительно небольшою теплотой плавленія, и это не удивительно, такъ какъ одна калорія равна 424 килограмметрамъ, т.-е. 424 единицамъ работы. Что касается траты работы при измѣненіи объема, то она является очень малой, независимо отъ того, расширится ли тѣло при застываніи, какъ ледъ, типографскій металлъ, чугуны, или, на-

---

<sup>1)</sup> Этотъ опытъ можетъ показаться слишкомъ грубымъ, однакоже легко видѣть, что всѣ ошибки направлены въ сторону, невыгодную для того, кто доказываетъ, что ледъ, плавясь, поглощаетъ тепло: 1) ледъ легче воды, 2) теплоемкость льда вдвое меньше теплоемкости воды.

оборотъ, сжимается, какъ воскъ, парафинъ и т. п. Такъ, напр., при замерзаніи воды на преодоленіе атмосфернаго давленія уходитъ всего около  $\frac{1}{10}$  килограмметра (на 1 килограммъ льда) изъ общаго числа около 34000. Подобныя же явленія наблюдаются и при превращеніи жидкости въ паръ. Если взять чистую дистиллированную воду и нагрѣвать ее въ металлическомъ сосудѣ, то по мѣрѣ нагрѣванія термометръ будетъ подниматься и остановится на  $100^{\circ}$  C (давленіе атмосферы 760 миллиметровъ), когда вода закипитъ, и будетъ стоять неподвижно, пока не выкипитъ вся вода. Что вода при обращеніи въ паръ поглощаетъ очень много тепла, которое она можетъ отдать при обратномъ переходѣ въ воду, можно видѣть изъ очень несложнаго опыта. Приладимъ къ колбѣ предохранительную трубку термометра и трубку изогнутую какъ показано на рисункѣ,

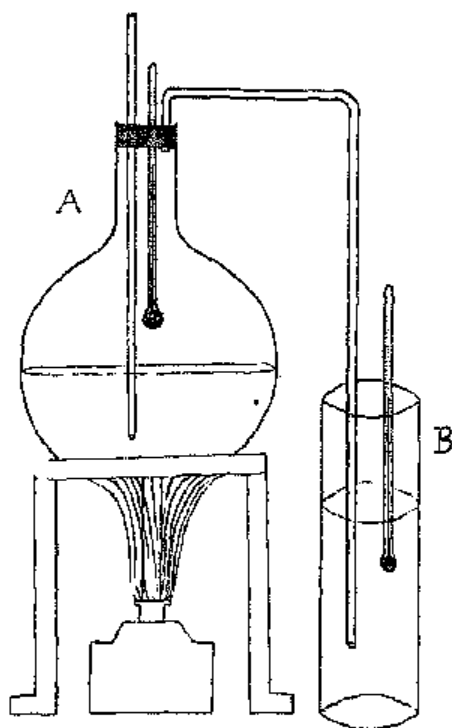


Рис. 28.

и приготовимъ два одинаковыхъ узкихъ стакана съ одинаковымъ количествомъ воды комнатной температуры. Станемъ нагрѣвать нашу колбу, и когда вода начнетъ сильно кипѣть, и изъ трубки будетъ вырываться струя пара, опустимъ конецъ ея въ одинъ изъ стакановъ. Мы услышимъ сейчасъ же очень непріятный трескъ, и паръ станетъ сгущаться въ нашей холодной (относительно) водѣ. Но это сгу-



ченіе будетъ продолжаться очень недолго: чрезъ самое короткое время паръ станетъ проходить въ видѣ крупныхъ пузырей чрезъ воду, не охлаждаясь Измѣряемъ термометромъ температуру и убѣдимся, что она равна  $100^{\circ}$ . Ставимъ другой цилиндръ рядомъ, быстро вынимаемъ пробку изъ колбы и наливаемъ горячей воды (ея температура  $100^{\circ}$ , какъ и выходящаго пара) столько, чтобы въ обоихъ цилиндрахъ воды было поровну. Измѣримъ и здѣсь температуру: приростъ ея оказывается почти незамѣтнымъ, а между тѣмъ въдѣ мы налили воды при  $100^{\circ}$  ровно такой же объемъ, сколько въ первый цилиндръ вошло въ видѣ пара. Этотъ опытъ показываетъ намъ, что въ извѣстномъ количествѣ воды, взятой съ виду пара, содержится гораздо больше тепла, чѣмъ въ томъ же количествѣ воды въ капельно жидкомъ состояніи, хотя температура ихъ и одинакова. *Теплота парообразования* для воды громадна: одинъ килограммъ воды при  $100^{\circ}$ , обращаясь въ паръ той же температуры, поглощаетъ 537 калорій, т.-е. такое количество тепла, которое можемъ нагрѣть 5,37 килограмма воды отъ  $0^{\circ}$  до  $100^{\circ}$ . Приводимъ табличку съ указаніемъ температуры кипѣнія (при 760 миллиметрахъ) (таблица VIII) и теплотъ парообразования (таблица IX) для различныхъ жидкостей. Очень мало требуется тепла для кипяченія ртути, хотя она кипитъ при очень высокой температурѣ, не даромъ такъ вредно обращаться съ нею. Вуда идетъ это тепло, само собою понятно: при переходѣ жидкости въ паръ ей приходится совершать очень большую работу для преодоленія давленія атмосферы, такъ какъ въ этомъ случаѣ измѣненіе объема громадно: для примѣра возьмемъ хотя бы ту же воду: одинъ килограммъ воды при  $100^{\circ}$  занимаетъ объемъ немного болѣе одного кубическаго дециметра (литра) а въ видѣ пара при той же температурѣ (и давленіи въ 760 мм.), около 1700 (1658) кубическихъ дециметровъ. На совершеніе этой работы пойдетъ около 40 калорій. Далѣе очень большая подвижность частицъ тѣла въ газообразномъ состояніи тоже

обусловливается громаднымъ запасомъ энергіи, которая поступаетъ въ видѣ поглощаемого тепла; наконецъ, преодоленіе сдѣвленія и насто весьма значительное измѣненіе самыхъ частицъ требуютъ тоже немалыхъ затратъ энергіи. Такимъ образомъ, мы видимъ, что превращеніе жидкости въ паръ влечетъ за собой сильное поглощеніе тепла. Если палить на руку какой-нибудь летучей жидкости, напр., эфира, то при движеніи рукой (облегчается диффузія пара жидкости, а слѣдовательно, и испареніе) мы почувствуемъ сильный холодъ. Этимъ холодомъ при испареніи жидкостей пользовались, да и теперь пользуются, для

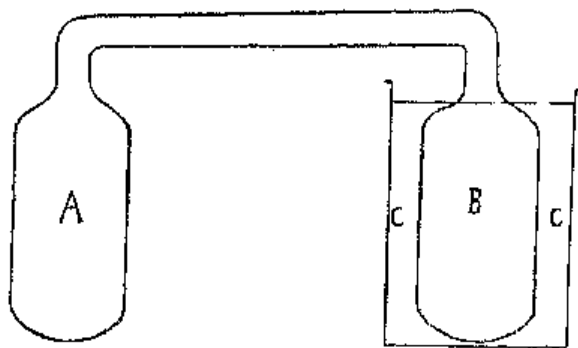


Рис. 29.

приготовленія „искусственнаго“ льда, охлажденія воздуха въ погребахъ и т. д. Такія холодильныя машины (рис. 29) устроены такъ: въ А летучая жидкость (хлористый метилъ) или растворъ легко сжижаемаго газа въ водѣ (напр., нашатырный спиртъ). Сначала нагреваютъ А очень сильно. Въ С налита холодная вода. Тогда въ В образуется сгущенный газъ или легко летучая жидкость. А перестаютъ нагревать, а наоборотъ охлаждаютъ холодной водой. Давленіе въ приборѣ уменьшается, жидкость закипаетъ, при чемъ, конечно, тепло, необходимое для превращенія ей въ паръ, отнимаетъ у воды въ чанѣ С, которая сильно охлаждается и даже можетъ замерзнуть. Если мы станемъ уменьшать давленіе надъ жид-

костью, то температура ея кипѣнія понизится. Если воду въ круглодонной колбѣ довести до кипѣнія и поддерживать его нѣкоторое время, то образующійся паръ унесетъ изъ колбы съ собою весь почти воздухъ. Если теперь быстро закупорить колбу пробкой, опустить ее горлышкомъ внизъ въ воду и охлаждать ея дно, подливая водой, то вода начнетъ кипѣть, хотя температура ея много ниже  $100^{\circ}$ . Охлаждая колбу, мы уменьшимъ давленіе паровъ воды, чѣмъ и достигается пониженіе температуры кипѣнія. Чѣмъ выше кипитъ жидкость, тѣмъ больше пониженіе ея температуры кипѣнія съ уменьшеніемъ давленія. Такъ, напр., вода кипитъ при 760 mm при  $100^{\circ}$ , а при 4 mm. — при  $0^{\circ}$ , а жидкій водородъ, кипящій при  $-257^{\circ}$ , при такомъ же уменьшеніи давленія понижаетъ температуру кипѣнія своего на 2 градуса. Если мы станемъ нагревать какую-нибудь жидкость, то она закипитъ, когда упругость ея пара сдѣлается равной внѣшнему давленію. Обратно, имѣя паръ и подвергая его сжатію, можно заставить его сгуститься. Если мы станемъ постепенно повышать температуру, то, наконецъ, дойдемъ до такой температуры, при которой *никакое сжатіе* не въ состояніи превратить паръ въ жидкость. Эта температура называется *критической*. Приложенная таблица X показываетъ, что эта температура колеблется для различныхъ тѣлъ въ очень широкихъ предѣлахъ. Изучая тепловые превращенія при этомъ процессѣ, мы увидимъ, что теплота испаренія съ повышеніемъ температуры мало-по-малу уменьшится и при критической температурѣ сдѣлается равной нулю. Благодаря существованію критической температуры, выше которой не удастся превратить газы въ жидкость, и объясняется тотъ фактъ, что кислородъ, водородъ, азотъ и другіе *постоянные* газы долгое время оставались не сжижаемыми, такъ какъ не было средствъ достигнуть температуры, лежащей ниже ихъ критической точки.

Заканчивая главу о теплотѣ, не безынтересно было бы указать на крайніе предѣлы температуръ, которыми можно

пользоваться въ настоящее время. Мы уже говорили о холодильныхъ машинахъ Линде, въ которыхъ можно сгущать воздухъ въ жидкость, кипящую при атмосферномъ давленіи около— $200^{\circ}$ . Жидкій воздухъ сохраняется въ особыхъ сосудахъ, придуманныхъ Дьюаромъ и усовершенствованный Вейнгольдомъ: стѣнки у нихъ двойныя, высеребренныя изнутри. Воздухъ изъ промѣшка между ними выкаченъ (рис. 30). Такимъ образомъ, нагрѣваніе чрезъ теплопроводность доведено до minimum'a, благодаря отсутствію между стѣнками воздуха, а серебрянныя стѣнки вѣлнколѣпно отражаютъ большин-ство тепловыхъ лучей.

Постоявъ въ открытомъ сосудѣ, жидкій воздухъ утѣчиваетъ почти весь азотъ и кипитъ уже только при— $184^{\circ}$ . Пользуясь машиной Линде, Траверсъ сгустилъ водородъ, охлажденный предварительно жидкимъ воздухомъ до— $100^{\circ}\text{C}$ , въ жидкое,

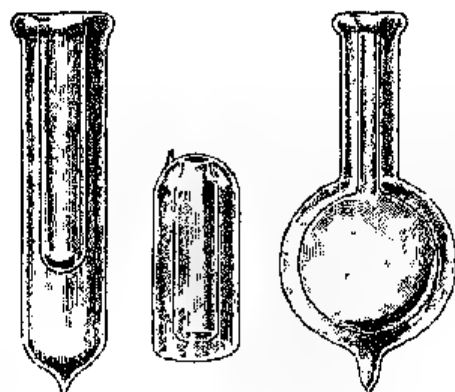


Рис. 30.

кипящую при обыкновенномъ (760 мм.) давленіи при— $257^{\circ}$ . Если быстро испарять жидкій водородъ, уменьшая надъ нимъ давленіе, то температура его падаетъ до  $258,8^{\circ}$ , т.-е. до  $14,2^{\circ}$  по абсолютному счету, при чемъ водородъ превращается въ твердую стекловидную массу. Это, такъ сказать, нижній предѣлъ температуры, достигнутый въ лабораторіяхъ до настоящаго времени; что касается верхняго предѣла, то онъ въ настоящее время достигается въ электрическихъ печахъ. Ихъ многое множество системъ, но въ существенныхъ чертахъ онѣ устроены такимъ образомъ (см. рисунокъ 31): изъ чрезвычайно огнеупорныхъ кирпичей устраи-

вается печь въ видѣ параллелепипеда съ углубленіемъ посрединѣ. Крышкой печи служатъ такіе же кирпичи, и тоже съ углубленіемъ. Въ боковыя стѣнки вставлены угольные электроды, соединенные съ полюсами динамомашинъ. Когда пущенъ токъ, между сближенными углями появляется вольтова дуга, которал можетъ быть увеличена при разведеніи углей въ стороны. Угли накаляются добѣла, пламя пышетъ изъ отверстій нечи, и нѣтъ такого вещества, которое не плавилось или, по крайней мѣрѣ, не размягчалось бы при этой температурѣ, которую считаютъ въ 3500°.

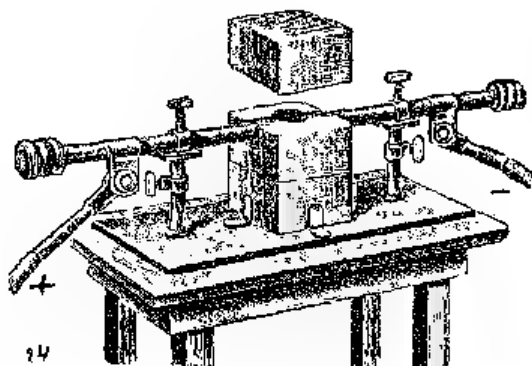


Рис. 31.

Нѣтъ надобности приводить много примѣровъ тугоплавкихъ тѣлъ, легко расплавляемыхъ въ этой печи, достаточно сказать, что недавно были описаны опыты *надъ плавленіемъ* большихъ (около 400 граммовъ) количествъ *извести*: известъ плавилъ въ печи изъ извести же, и углубленіе, вытопленное *жидкой известью*, было окружено красивымъ налетомъ изъ перепутанныхъ кристалловъ *испаряющейся извести*. Самъ уголь при этой температурѣ начинаетъ, повидимому, сильно испаряться, и это обстоятельство мѣшаетъ дальнѣйшему поднятію температуры. Итакъ, твердый водородъ и пары угля или негашеной извести—вотъ показатели крайнихъ предѣловъ температуръ, достигнутыхъ въ настоящее время. Понятно, что эти крайніе предѣлы температуры,

въ особенности верхніе, не приходится измѣрять обыкновенными термометрами, такъ что эти измѣренія производятся при помощи особыхъ приборовъ, основанныхъ на измѣненіи различныхъ свойствъ тѣлъ, напримѣръ, способности пропускать электрическій токъ подъ вліяніемъ повышенія температуры. Переходы отъ температуры горѣнія водорода въ кислородѣ до температуры испаренія извести достигаются легко, и высшій предѣлъ былъ достигнутъ, такъ сказать, быстрымъ темпомъ, но зато по мѣрѣ приближенія къ абсолютному нулю приходилось преодолѣвать странныя затрудненія, такъ какъ самыя рѣзкія измѣненія нѣкоторыхъ условій при низкихъ температурахъ могли вызвать только еле-еле замѣтное дальнѣйшее пониженіе температуры, хотя при болѣе высокихъ температурахъ вызывали пониженіе на сотни градусовъ. Достаточно указать хотя бы на только что приведенные нами примѣры пониженія температуры кипѣнія различныхъ жидкостей съ уменьшеніемъ давленія. Но эта „неудача“ не можетъ обезкураживать изслѣдователей, потому что она является необходимымъ слѣдствіемъ одного изъ законовъ термодинамики, относящихся къ сжатію и расширенію газовъ и паровъ. Это еще болѣе убѣждаетъ насъ въ цѣлесообразности принятія гипотезы, которая считаетъ теплоту и механическую работу проявленіями одной и той же энергіи, тѣмъ болѣе, что для вывода различныхъ законовъ математическимъ путемъ изъ основныхъ положеній намъ не приходится даже прибѣгать къ какимъ-нибудь новымъ допущеніямъ.

## ГЛАВА IV.

### Химическія превращенія.

До сихъ поръ намъ приходилось разбирать такого рода явленія, при которыхъ тѣла, хотя и получали новыя свойства, но, такъ сказать, сохраняли свойства прежнія, такъ

что по окончаніи явленія, когда причина его вызвавшая перестала дѣйствовать, мы опять получали прежнія тѣла. Оказывается, однако, что, кромѣ этихъ явленій, *физическихъ*, существуютъ явленія другого рода — *химическія*; при этихъ явленіяхъ тѣла получаютъ такіа новыя свойства, что мы не можемъ уже считать взятые тѣла прежними, а должны предположить, что образовались тѣла новыя. Для ясности приведемъ очень простой примѣръ: станемъ разогрѣвать на огнѣ платиновую полоску: она нагрѣется, накалится, станетъ свѣтиться, словомъ, приобрететъ цѣлый рядъ новыхъ свойствъ, но стоитъ только дать ей остыть, какъ у насъ получится прежняя полоска. Да и во время нагрѣванія ни вѣсъ ея, ни блескъ не мѣнялись настолько, чтобы мы могли говорить о какомъ-нибудь новомъ тѣлѣ. Опытъ съ накаливаніемъ можно повторять сколько угодно разъ. Другое дѣло, если мы возьмемъ ленту магніа и станемъ нагрѣвать ее; сначала она нагрѣется, потомъ раскалится и вдругъ загорится ослѣпительнымъ яркимъ пламенемъ, распространяя густой бѣлый дымъ. Кончилось горѣніе, и передъ нами лежитъ не прежняя полоска блестящаго бѣлаго металла, а рыхлый легкій порошокъ — магнезіа. Какое свойство прежняго магніа осталось въ этомъ порошокѣ? Никакого, конечно. Значитъ, у насъ получилось новое тѣло съ совершенно иными свойствами. Понятное дѣло, что повторить опытъ зажиганія *магніа*, когда у насъ остался только порошокъ *магнезіи*, ни въ какомъ случаѣ невозможно. Мы нарочно выбрали именно такой примѣръ, потому что въ немъ участвуютъ два сходныхъ по виду тѣла, — оба бѣлые блестящіе металлы, и дѣйствуетъ на нихъ одна и та же причина — теплота, а результатъ, благодаря различію химическаго характера этихъ тѣлъ, получается рѣзко различный, и для насъ ясно, что первый опытъ дастъ намъ рѣзкій примѣръ физическаго явленія, а второй — химическаго. Но не надо думать, что всегда бываетъ такъ легко рѣшить, къ какому классу явленій относится наблюдаемое нами: бы-

вають такіе случаи, когда приходится весьма осторожно относиться къ дѣлу. Для примѣра приведемъ такой случай: возьмемъ колбочку, закроемъ ее пробкой, въ пробку вставимъ изогнутую стеклянную трубочку, соединенную съ длинной трубкой, тоже стеклянной или фарфоровой, которую можно сильно накаливать; конецъ трубки соединимъ съ холодильникомъ. Если мы начнемъ кипятить воду, то она обращается въ парь, парь этотъ пройдетъ чрезъ накаленную трубку, и изъ холодильника будетъ капать вода. Вода обратилась въ парь, парь снова въ воду: такое дѣло, здѣсь

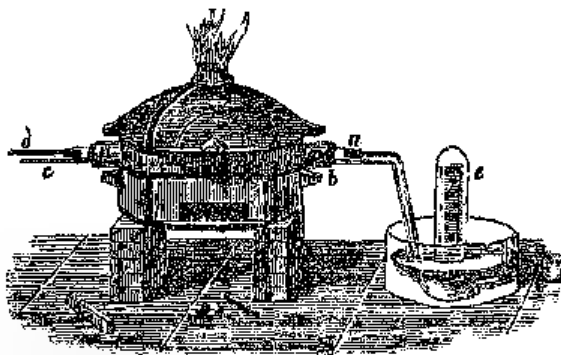


Рис. 32.

происходить самое обыкновенное физическое явленіе, которое ничего особеннаго не обнаруживаетъ, какъ бы сильно мы ни накаливали трубку. Но если мы устроимъ нашъ аппаратъ такимъ образомъ, чтобы образовавшійся накаленный парь могъ бы происходить чрезъ пористую стѣнку (см. рис. 32), т.-е. если мы внутри фарфоровой трубки вставимъ другую фарфоровую, но пористую и отведемъ парь изъ каждой трубки отдѣльно, въ одинъ резервуаръ, то окажется нѣчто иное: не весь парь будетъ превращаться въ жидкую воду, а часть его соберется въ резервуарѣ въ видѣ безвѣтнаго прозрачнаго газа, нерастворимаго въ водѣ. Если осторожно поднести къ отверстию резервуара горящую лучинку или свѣчу,



то этотъ газъ вспыхнетъ съ громкимъ трескомъ. Безъ особаго приспособленія мы никогда бы не узнали, что сильно накалинный паръ измѣняется химически, превращаясь въ такъ называемый гремучій газъ. Бываютъ еще и такіе случаи, когда благодаря постепенности измѣненій и перѣзкой на первый взглядъ разницѣ свойствъ, часто ихъ обратимости, чрезвычайно трудно бываетъ рѣшить вопросъ о томъ, къ какой группѣ относится данное явленіе: значить, особенно рѣзкой границы между этими группами провести иной разъ нельзя. Собственно говоря, это весьма даже хорошо, потому что у насъ является возможность *хотя бы нѣкоторые химическія явленія* ближе подвести къ физическимъ.

Во многихъ случаяхъ химическія явленія разыгрываются между двумя или нѣсколькими тѣлами, при чемъ первымъ условіемъ ихъ взаимодействія является возможно тѣсное ихъ сближеніе, поэтому не безынтересно было бы прослѣдить тѣ признаки, по которымъ можно установить, осталась ли у насъ смѣсь тѣлъ петропутой, или же она подверглась химическимъ водоизмѣненіямъ. Для примѣра изслѣдуемъ смѣсь тонкихъ желѣзныхъ опилокъ (желѣзнаго порошка) и сѣрнаго цвѣта. Для большей чистоты опыта хорошо взять 4 части сѣры (вѣсовыхъ) и 7 частей желѣза. Смѣсь эта сѣроватожелтаго цвѣта — средняго оттѣнка между цвѣтомъ сѣры и желѣза. Изучая свойства желѣза, мы находимъ, что оно нерастворимо въ водѣ и сѣроуглеродѣ, и даже въ видѣ тончайшаго порошка тонетъ въ этихъ жидкостяхъ, растворимо въ слабыхъ кислотахъ и притягивается магнитомъ; изучая сѣру, находимъ, что она нерастворима въ водѣ, и если взята въ видѣ тончайшаго порошка, плаваетъ нѣкоторое время на водѣ, не растворяется въ слабыхъ кислотахъ, не притягивается магнитомъ; въ сѣроуглеродѣ хорошо растворяется, оставляя послѣ испаренія сѣроуглерода красивые, блестящіе, полупрозрачные, желтые кристаллы сѣры. Если мы приблизимъ къ нашей смѣси магнитъ, то онъ извлечетъ

изъ смѣси только желѣзные опилки; если прибавить къ смѣси слабой сѣрной кислоты, то желѣзо съ шипѣніемъ будетъ растворяться, выдѣляя безцвѣтный непахучій газъ, а сѣра будетъ всплывать въ видѣ желтой каймы; обработавъ смѣсь сѣроуглеродомъ, отцѣдивъ отъ остатка и испаривъ сѣроуглеродъ, получимъ кристаллы сѣры и т. д. Словомъ, въ смѣси сохранились всѣ свойства составныхъ частей.

Если же мы насыпемъ нашу смѣсь въ пробирку и станемъ нагревать ее въ одномъ мѣстѣ до начала плавленія, то сейчасъ же смѣсь, начиная отъ нагрѣтаго мѣста, постепенно раскалится до ярко краснаго каленія. Давъ ей остыть, изслѣдуемъ ее магнитомъ, сѣроуглеродомъ, водой; окажется, что раздѣленія сѣры и желѣза мы не можемъ теперь добиться; пробуемъ слабой кислотой: оказывается, что полученное тѣло шипитъ съ кислотой, по выдѣляетъ газъ съ запахомъ тухлыхъ яицъ. Изъ этого убѣждаемся, что у насъ получилось нѣчто иное, чѣмъ простая смѣсь, обладающее цѣлымъ рядомъ совершенно новыхъ признаковъ, словомъ, послѣ нагрѣванія у насъ получилось новое тѣло, именно *химическое соединеніе сѣры и желѣза* — сѣрнистое желѣзо, какъ говорятъ химики <sup>1)</sup>. Для насъ не можетъ быть никакого сомнѣнія въ томъ, что при этомъ явленіи произошли значительныя измѣненія энергій: выдѣленіе громаднаго количества тепла и появленіе совершенно новыхъ свойствъ достаточно убѣждаютъ насъ въ этомъ. Можно показать, что какое бы мы ни взяли химическое превращеніе, въ немъ всегда будутъ наблюдаться нѣкоторыя измѣненія энергій. Возьмемъ нѣсколько общезвѣстныхъ примѣровъ. Красная окись ртути, неопредѣленно долго сохраняющаяся при обыкновенной температурѣ, при сильномъ нагрѣваніи распадется на металл-ртуть и газъ кислородъ. Здѣсь образо-

1) Смѣсь 3 вѣс. части угля и 16 вѣс. частой сѣры представляетъ грязно-желтый порошокъ, а химическое нѣхъ соединеніе — безцвѣтную тяжелую жидкость, сильно преломляющую свѣтъ и въ не совсѣмъ чистомъ видѣ обладающую запахомъ гнилой капусты

ваніе двухъ новыхъ тѣлъ изъ одного, т.-е. другими словами появленіе въ матеріи новыхъ свойствъ — потребовало затраты энергіи въ видѣ тепла. Цинковая пластинка, опущенная въ голубой растворъ мѣднаго купороса, покрывается краснымъ слоемъ металлической мѣди, при чемъ голубой растворъ мѣднаго купороса превращается въ безцвѣтный растворъ купороса цинковаго. Здѣсь вмѣсто одного металла появляется другой, совершенно иначе относящійся къ нагреванію, дѣйствію кислотъ и т. д., значитъ, и здѣсь произошло значительное измѣненіе въ распредѣленіи энергіи. Наконецъ, если запаять въ трубочку кусочекъ желтаго обыкновеннаго фосфора и нагревать его въ теченіе нѣсколькихъ часовъ до  $200^{\circ}$ — $300^{\circ}$ , то желтый фосфоръ перейдетъ въ красный. Сравненіе ихъ свойствъ ясно покажетъ, что и здѣсь произошло глубокое измѣненіе въ распредѣленіи энергіи: желтый фосфоръ — ядовитъ, чрезвычайно легко воспламеняется, растворяется въ сѣроуглеродѣ, въ темнотѣ на воздухѣ свѣтится, красный — неядовитъ, загорается только при сильномъ накаливаніи, въ сѣроуглеродѣ не растворяется, въ темнотѣ на воздухѣ не свѣтится. Итакъ, произойдетъ ли химическое превращеніе одного тѣла въ нѣсколько другихъ (химич. разложеніе), нѣсколькихъ въ одно (химич. соединеніе), нѣсколькихъ въ нѣсколько (обмѣнное разложеніе или, наконецъ, одного въ одно (амлотропія, изомеризація), все равно всегда происходятъ значительныя измѣненія энергіи. Во всѣхъ приведенныхъ примѣрахъ мы прилагали энергію въ видѣ теплоты и обнаруживали ея выдѣленіе по теплотѣ, происходящей при химическихъ реакціяхъ, но можно показать, что мы сейчасъ и сдѣлаемъ, что всѣ виды энергіи могутъ быть употреблены для химическаго превращенія тѣлъ, а также могутъ быть получены при такихъ превращеніяхъ. Такъ на примѣръ, если выставить на свѣтъ бумажку, пропитанную хлористымъ серебромъ, то она на свѣту чернѣетъ, при чемъ хлористое серебро разлагается въ концѣ концовъ на хлоръ и серебро. Съ другой стороны,

если пропускать кислородъ или просто воздухъ въ щелочной спиртовой растворъ дофина, то мы замѣчаемъ красивый свѣтъ, безъ повышенія температуры до такихъ предѣловъ, когда тѣла начинаютъ свѣтиться<sup>1)</sup>. При этомъ замѣчается превращеніе дофина въ другія тѣла, напр. въ аммакъ, который легко узнается по запаху. Пропуская обыкновенный кислородъ чрезъ трубку, подвергающуюся дѣйствию тихаго электрическаго разряда, мы превращаемъ кислородъ въ пахучій озонъ, отъ котораго чернѣетъ серебро и сѣдѣетъ іодокрахмальная бумажка (бумажка, смоченная растворомъ іодистаго калия съ клейстеромъ и потомъ высушенная). Съ другой стороны гальваническіе элементы и аккумуляторы представляютъ намъ хорошій примѣръ проявленія электрической энергіи при химическомъ превращеніи. При взрывѣ пороха или какой-нибудь смѣси бертолетовой соли химическое превращеніе часто сопровождается сотрясеніемъ воздуха и звуковыми волнами. Но и звуковая волна, въ свою очередь, можетъ вызвать взрывъ іодистаго азота, нитро-глицерина и т. п. веществъ. Химическое соединеніе двухъ тѣлъ сплосъ и рядомъ влечетъ за собой уплотненіе вещества, — достаточно указать на воду, которая въ 770 разъ тяжелѣе кислорода и въ 11000 разъ тяжелѣе водорода (своихъ составныхъ частей) съ другой стороны, сильно сжимая, напримѣръ растирая въ ступкѣ, сѣру со ртутью, мы получимъ сѣрнистую ртуть. Словомъ, мы всегда можемъ найти подходящій примѣръ для каждаго вида энергіи... Попятно, что при этихъ превращеніяхъ намъ можетъ интересовать вопросъ, до какихъ предѣловъ можно идти, соединяя нѣсколько тѣлъ въ одно или же все болѣе и болѣе упрощая составъ тѣлъ. Сколько-нибудь подробное разъясненіе перваго случая требуетъ очень точныхъ и довольно обширныхъ свѣдѣній по химіи, что же касается вто-

---

<sup>1)</sup> Свѣтъ этотъ очень напоминаетъ свѣщеніе свѣтлящихся ивановыхъ червячковъ.

раго, то можно сказать, что въ концѣ концовъ химики приходятъ къ такимъ тѣламъ, которыя уже намъ не удастся ни разложить на новыя тѣла, ни составить изъ тѣлъ намъ извѣстныхъ, какіе бы виды энергіи мы имъ ни придавали. Такія тѣла (см. выше), конечно, способны дать новыя тѣла при такихъ только превращеніяхъ, при которыхъ ихъ вѣсъ или не мѣняется или же увеличивается. Эти тѣла называютъ *простыми тѣлами* или *элементами*. Сейчасъ ихъ насчитываютъ около 80 (см. таблицу XI). Большая часть изъ нихъ металлы, т.-е. блестящія тѣла, хорошо проводящія тепло и электричество, обладающія ковкостью, тягучестью и вязкостью въ большей или меньшей степени; одинъ металлъ — ртуть жидкій, и только ниже —  $40^{\circ}$  проявляетъ ковкость и тягучесть: *железо, серебро, золото, медь, олово, платина, цинкъ, мармій, натрій, калий, селенецъ* — твердые. Остальные не металлы (металлоиды, какъ говорятъ химики) частью газы, какъ *кислородъ, азотъ, водородъ, хлоръ, фторъ, аргонъ*, частью твердые, какъ *углеродъ, боръ, фосфоръ, кремній*. Жидкій не металлъ тоже есть: это темнокрасный, тяжелый *бромъ*. Изъ сочетаній этихъ элементовъ и состоятъ все извѣстныя намъ тѣла. Такъ наприимѣръ, все животныя и растенія (*бѣлокъ* ихъ тѣла) состоятъ главнымъ образомъ изъ углерода, водорода, кислорода, азота, сѣры и фосфора. Поваренная соль состоитъ изъ натрія и хлора, вода изъ водорода и кислорода; большая часть минераловъ, входящихъ въ составъ горныхъ породъ, состоятъ изъ кремнія, кислорода, алюминія, кальція, магнія, натрія. Мѣлъ состоитъ изъ угля, кислорода и кальція. Сахаръ — изъ угля, кислорода и водорода. Изъ того, что было сказано о различіи смѣсей и химическихъ соединеній, ясно, что выраженіе „состоитъ изъ угля, водорода и кислорода“, значитъ: „изъ этого тѣла можно, прилагая различныя виды энергіи, получить уголь, водородъ и кислородъ, или же, тоже съ приложеніемъ разнаго рода энергіи, изъ угля, водорода и кислорода можно составить данное тѣло“. Иногда изъ даннаго элемента могутъ

состоять нѣсколько тѣлъ, такъ напริมѣръ, желтый и красный фосфоръ состоятъ только изъ одного элемента — фосфора, озонъ и кислородъ изъ одного элемента кислорода, уголь, графитъ и алмазъ изъ одного только углерода и т. д. Это значить, что одно видоизмѣненіе такого тѣла можетъ быть переведено *безъ измѣненія вѣса* въ другое, напрімѣръ, желтый фосфоръ нацѣло можоть быть переведенъ въ красный. Съ другой стороны, это значить, что одинаковые вѣса различныхъ видоизмѣненій простыхъ тѣлъ переходятъ съ *различными проявленіемъ энергіи* въ одинаковое количество одного и того же сложнаго тѣла: такъ напрімѣръ, 62 грамма желтаго фосфора, сгорая въ кислородѣ, даютъ столько же *фосфорнаго ангидрида*, какъ и 62 грамма краснаго, а именно 142 грамма, хотя въ первомъ случаѣ при горѣніи выделяется больше тепла. Изъ того, что было сказано объ элементахъ, слѣдуетъ, что *мы не въ состояніи перевести одинъ элементъ въ другой*, т.-е. у насъ нѣтъ средствъ такъ измѣнить распределеніе энергіи въ тѣлахъ, чтобы произошло подобное превращеніе. Самопроизвольное превращеніе одного элемента въ другой извѣстно въ настоящее время. В. Рамзай и Ф. Содди доказали, что элементъ радій переходитъ въ гелій, такъ что, по нѣмъ вычисленіямъ, въ 1100 лѣтъ одинъ элементъ нацѣло переходитъ въ другой. Но это превращеніе <sup>1)</sup> сопровождается колоссальными измѣненіями энергіи, въ *нѣсколько сотъ тысячъ разъ* (около 250000) превышающими, напрімѣръ, тепло, выделяющееся при соединеніи водорода съ кислородомъ, такъ что мы не въ состояніи достигнуть обратнаго превращенія. Въ самомъ дѣлѣ, мы пока не въ состояніи безпредѣльно повышать напряженіе разныхъ видовъ энергіи: такъ мы знаемъ, что выше 3500° намъ не удастся повысить *температуру*; если же мы начинаемъ все болѣе и болѣе увеличивать *давленіе*,

<sup>1)</sup> Бромистый радій приблизительно на 10,5° всегда теплѣе воздуха, въ которомъ онъ лежитъ.

то сосуды изъ крѣпчайшей закаленной стали начинаютъ поддаваться, какъ упругій каучукъ и т. д. Словомъ, надо еще много поработать надъ усовершенствованіемъ нашихъ приборовъ и матеріаловъ, изъ которыхъ они дѣлаются, чтобы говорить о превращеніи элементовъ одинъ въ другой. Попытки же, сдѣланныя съ обычными нашими приборами и запасами энергіи, не очень отступающими по напряженію отъ обычныхъ нормъ, не приводили до сихъ поръ ни къ какимъ удовлетворительнымъ результатамъ.

Постоянный опытъ убѣдилъ химиковъ, что всѣ тѣла, обладающія вполне опредѣленными физическими и химическими свойствами, обладаютъ однимъ и тѣмъ же составомъ, независимо отъ способовъ и приѣмовъ получения <sup>1)</sup>. Пропорціи составныхъ частей опредѣленнаго тѣла всегда одинаковы. Такъ напримѣръ, вода получается 1) при горѣніи водорода въ кислородѣ, 2) при горѣніи свѣчи, 3) при горѣніи дерева, 4) при перегонкѣ каменнаго угля, 5) при накаливаніи мѣднаго купороса, 6) при дыханіи, 7) при дѣйствіи на окись ртути хлористымъ водородомъ и т. д., но если эту воду очистить отъ случайныхъ примѣсей, то окажется, что тогда получается химически чистая вода, совершенно одинаковая по своимъ свойствамъ, которая всегда

---

<sup>1)</sup> Здѣсь не лишне будетъ подчеркнуть, что обратное правило не имѣетъ никакого значенія, потому что мы знаемъ десятки тысячъ примѣровъ, когда тѣла съ однимъ и тѣмъ же составомъ обладаютъ самыми разнообразными свойствами. Для примѣра можно привести хотя бы *масляную кислоту* и *уксусно-этиловый эфиръ*. оба состоятъ изъ углерода (54, 54<sup>1</sup>/<sub>10</sub> по вѣсу), водорода (9,09<sup>1</sup>/<sub>10</sub>) и кислорода (36,36<sup>1</sup>/<sub>10</sub>); плотность паровъ по отношенію къ водороду равна 44. Между тѣмъ, *масляная кислота*—довольно трудно летучая кислая маслянистая жидкость, очень не-пріятнаго запаха, съ точкой кипѣнія 183° и уд. вѣсомъ 0,95, а *уксусно-этиловый эфиръ* легко летучая, нейтральная, подвижная жидкость, весьма пріятнаго запаха, кипящая при 77°, съ удѣльнымъ вѣсомъ 0,8630. Химическія свойства ихъ весьма различны—Подобнаго рода случаи наиболѣе часто наблюдаются въ хлмн соединений углерода („органической химіи“), рѣже при изученіи соединений другихъ элементовъ.

и во всѣхъ случаяхъ состоитъ изъ 88,89% кислорода и 11,11% водорода, т.-е. на 16 вѣс. части кислорода въ ней приходится 2,02 вѣс. части водорода.

Мы уже указали на то, что изъ одного элемента могутъ состоять нѣсколько тѣлъ, такъ точно и нѣсколько элементовъ могутъ соединяться въ различныхъ пропорціяхъ, давая разныя—по физическимъ и химическимъ свойствамъ—тѣла. При этомъ если взять за единицу количество одного элемента, то количества другого будутъ въ разныхъ тѣлахъ кратны между собой: въ окиси углерода угарномъ газѣ—42,86% углерода и 57,14% кислорода, а въ углекисломъ газѣ, продуктѣ дыханія и горѣнія углеродистыхъ веществъ,—27,27% углерода и 72,73% кислорода. Въ первомъ на 1 часть углерода приходится  $\frac{57,14}{42,86} = 1,333$  части кисло-

рода, а во второмъ  $\frac{72,73}{27,27} = 2,666$  част. кислорода. Отношеніе 2,666 къ 1,333 равно 2. Эти всѣ отношенія нагляднѣе выступаютъ при *обозначеніи опреѣленной количества* *каждаго элемента* опреѣленной латинской буквой или двумя буквами—началомъ латинскаго названія элемента, какъ это принято дѣлать у химиковъ: 16 вѣс. частей кислорода обозначаетъ О (Oxygenium), 1.01 часть водорода—Н (Hydrogenium), 12 вѣс. частей углерода—С (Carbon) и т. д. Тогда у насъ получаются химическія формулы окиси углерода СО и углекислаго газа СО<sub>2</sub>, на которыхъ ясно видна указанная нами законность. Оба эти закона (постоянства состава и кратныхъ отношеній) провѣрялись и провѣряются неоднократно и представляютъ, можно сказать безъ преувеличенія, основаніе всей химіи: разъ установивши составъ тѣла съ опреѣленными физическими и химическими свойствами, мы потомъ контролируемъ чистоту такого же тѣла, полученнаго инымъ способомъ, производя химическій анализъ этого соединенія. Только тогда, когда получаютъ данныя, отличающіяся отъ прежняго анализа въ предѣлахъ



ошибки опыта,—а такіа ошибки всегда неизбежны, хотя часто очень малы,—мы можемъ быть увѣрены въ томъ, что у насъ подъ руками дѣйствительно находится то тѣло, которое мы желали получать. При этомъ кристаллическая форма тѣла, его цвѣтъ, удѣльный вѣсъ, температура плавленія и температура кипѣнія могутъ служить достаточными признаками для отличія одного химически однороднаго тѣла отъ другого. При сравненіи двухъ тѣлъ для установленія ихъ одинаковости нѣтъ, конечно, физической возможности установить тождественность *всѣхъ* ихъ свойствъ, да и нѣтъ въ этомъ никакой надобности, такъ какъ полное совпаденіе химическаго состава и пяти-шести другихъ признаковъ почти совершенно исключаетъ возможность ошибки. Кромѣ перечисленныхъ свойствъ чаще всего обращаютъ вниманіе на растворимость тѣла въ различныхъ жидкостяхъ, его отношеніе къ проходящему свѣту и, пожалуй, еще на электрическія свойства. Мы сейчасъ увидимъ, что такое знаніе состава позволяетъ намъ выводить весьма интересные заключенія о химической энергіи многихъ тѣлъ.

Одинъ изъ самыхъ распространенныхъ видовъ явленій химическихъ превращеній представляетъ *горѣніе*. Подъ горѣніемъ химики подразумѣваютъ реакцію химическаго соединенія, достаточно быстро идущую и сопровождающуюся выдѣленіемъ свѣта и тепла. Такъ, напримѣръ, въ разобранномъ нами примѣрѣ соединенія сѣры и желѣза при нагреваніи смѣсь загоралась и горѣла; хлоръ, напримѣръ, горитъ въ водородѣ и т. д. Такихъ примѣровъ горѣнія очень много, но мы займемся только горѣніемъ въ воздухѣ или кислородѣ. Повседневный опытъ показываетъ намъ, что, сжигая уголь и дрова въ печахъ, свѣтильный газъ въ горѣлкахъ, керосинъ, бензинъ, нефть и нефтяные остатки въ особенно устроенныхъ аппаратахъ, мы заставляемъ выдѣляться большое количество тепла, которое и употребляется нами для нагреванія воздуха нашихъ жилыхъ помѣщеній, для приготовления пищи, выплавки металловъ, приведенія въ дѣй-

ствіе машинъ, передвиженія тяжестей на сушѣ и на водѣ и т. д. Большинство употребляемыхъ нами для отопленія тѣлъ состоятъ изъ углерода, водорода и кислорода: такъ, напримѣръ, дерево по составу представляетъ преимущественно сочетаніе углерода, водорода и кислорода въ пропорціи  $C_6 H_{10} O_5$ , нефть, керосинъ и отчасти свѣтильный газъ состоятъ изъ соединений углерода съ водородомъ въ различныхъ сочетаніяхъ, каменный и деревянный уголь состоятъ изъ большого количества чистаго углерода съ примѣсью различныхъ соединений углерода съ водородомъ и кислородомъ; сало, спиртъ, воскъ,—все это смѣсь различныхъ сочетаній углерода, водорода и кислорода. Ясное дѣло, что для выясненія себѣ явленій горѣнія (съ кислородѣ или въ воздухѣ) намъ придется сдѣлать хотя бы очень краткій очеркъ свойствъ этихъ трехъ элементовъ.

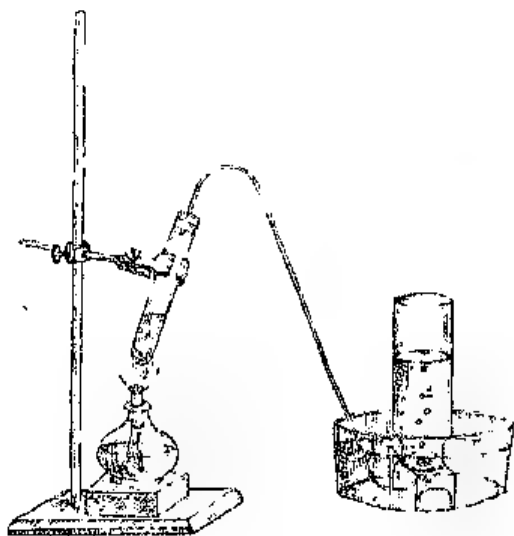


Рис. 3.

Изъ всѣхъ простыхъ тѣлъ *кислородъ* самое распространенное на земномъ шарѣ; въ составъ земной коры (считая въ томъ числѣ воздухъ и воду) онъ входитъ въ количествѣ почти 50<sup>0</sup>/<sub>100</sub>. Въ водѣ его 88,89<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, въ воздухѣ около 23<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, въ сѣновѣ или 21<sup>0</sup>/<sub>100</sub> по объему, въ мѣлу его 48<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, въ пескѣ 50<sup>0</sup>/<sub>100</sub> и т. д. Кислородъ получить очень легко въ свободномъ состояніи изъ соединений богатыхъ имъ. Удобнѣе всего получать его изъ бертолетовой соли, нагревая ее въ приборѣ въ родѣ изображеннаго на нашемъ рисункѣ (рис. 33) съ черной перекисью марганца. Собирать его

можно или падъ водою или же прямо въ открытый сосудъ, пользуясь гѣмъ, что онъ нѣсколько тяжеле воздуха. При обыкновенной температурѣ и давленіи это безцвѣтный газъ, безъ вкуса и запаха; при сильномъ сжатіи и охлажденіи—жидкость, кипящая при—184°.

Въ настоящее время много кислорода получаютъ не химическимъ путемъ, а чисто механическимъ, сгущая воздухъ въ машинѣ Лиде. Въ водѣ онъ мало, но все-таки растворимъ. Многія водныя животныя—рыбы, черви и насекомыя—употребляютъ для дыханія именно кислородъ, растворенный въ водѣ. Онъ даетъ химическія соединенія со всѣми элементами, кромѣ фтора; также аргонъ, гелій и другіе „благородные“ газы не соединяются съ нимъ. Если какое-нибудь тѣло горитъ въ воздухѣ, то понятно оно будетъ горѣть и въ кислородѣ. Такъ сѣра, фосфоръ, натрій, уголь и магній, напримѣръ, горятъ въ кислородѣ, выдѣляя много тепла. Естественно ожидать, что горѣніе въ кислородѣ будетъ протекать гораздо энергичнѣе, чѣмъ въ воздухѣ, такъ какъ чистый кислородъ въ пять разъ (приблизительно) концентрированнѣе кислорода въ воздухѣ, разбавленнаго 4-мя частями азота. Такъ, напримѣръ, желѣзо, которое горитъ на воздухѣ только въ видѣ тончайшаго порошка (фейерверочныя звѣзды и фонтаны), въ кислородѣ же загорается и горитъ, разбрасывая кругомъ блестящія искры. Для этого его только надо нагрѣть до бѣлаго каленія, что легко сдѣлать, если прикрѣпить къ часовой стальной пружинѣ кусокъ трута, зажечь его и опустить въ банку съ кислородомъ.

Говоря о горѣніи въ кислородѣ, не лишнимъ будетъ указать на такіе случаи, гдѣ горѣніе совершается на счетъ связаннаго кислорода различныхъ тѣлъ, т.-е. на счетъ кислорода, химически соединеннаго съ другими элементами. Накаливая до яркаго каленія селитру, можно выдѣлать изъ нея кислородъ. Если селитру (калійную) расплавить въ пробиркахъ и бросить въ одну изъ нихъ кусочекъ за-

жженнаго угля, и въ другую кусочекъ сѣры, томы увидимъ красивую и эффектную картину горѣнія на счетъ того кислорода, который находится въ химическомъ соединеніи съ калиемъ и азотомъ въ селитрѣ. Поэтому-то тѣсная смѣсь селитры (75 ч.), сѣры (12 ч.) и угля (13 частей), т.-е. обыкновенный порохъ можетъ горѣть въ замкнутомъ пространствѣ: уголь сгораетъ на счетъ кислорода селитры, а калий соединяется съ сѣрой. Смѣсь бертолетовой соли (2 ч.) съ порошкомъ угля (1 часть) тоже сгораетъ въ замкнутомъ пространствѣ,—на этомъ основано приготовленіе фейерверковъ. Въ шведскихъ спичкахъ фосфоръ коробки окисляется кислородомъ бертолетовой соли на самой спичкѣ и воспламеняетъ фейерверочную смѣсь бертолетовой соли, сѣрнистой сурьмы и сурика на спичкѣ. Въ недавнее сравнительно время Гольдшмидтъ придумалъ пріемъ для быстрого поднятія температуры до очень высокихъ предѣловъ. Онъ приготовляетъ смѣсь порошка окиси желѣза (желѣзной окалипы) съ топчайшимъ порошкомъ алюминія. Смѣсь эта извѣстна подъ названіемъ термита. Если эту смѣсь разогрѣть въ одномъ мѣстѣ, то алюминій начинаетъ соединяться съ кислородомъ окиси желѣза, образуя окись алюминія и чистое желѣзо. При горѣніи алюминія въ кислородѣ развивается очень много тепла, и такъ какъ при этой реакціи нѣтъ жидкостей и другихъ летучихъ тѣлъ, которые, испаряясь, поглощали бы много тепла, то въ короткое время смѣсь разогрѣвается до яркаго бѣлаго каленія. Такъ какъ при этомъ получается расплавленное желѣзо, то термитъ употребляется не только для достиженія высокихъ температуръ, но и для исправленія небольшихъ сравнительно изъяновъ въ издѣліяхъ, приготовленныхъ изъ желѣза, какъ-то рельсахъ, шипахъ, колесахъ и т. д. На горѣніи на счетъ химически связаннаго кислорода основана выплавка металловъ изъ кислородныхъ рудъ при помощи угля или окиси углерода: уголь отнимаетъ отъ металла кислородъ, бывшій въ соединеніи съ металломъ, при этомъ

обращается самъ въ кислородное соединеніе, а металлъ выплавляется въ чистомъ видѣ. То же дѣлаетъ и окись углерода.

Водородъ является тоже очень распространеннымъ въ природѣ, хотя далеко не въ такомъ количествѣ, какъ кислородъ. Больше всего его въ водѣ ( $\frac{1}{8}$  по вѣсу), въ свободномъ состояніи онъ найденъ въ недавнее время въ ничтожнѣйшихъ количествахъ, правда, въ воздухѣ; многіе минералы содержатъ водородъ въ связанномъ химически состояніи, напримѣръ, различные яшмы, малахитъ, бурая желѣзная руда и т. д. или въ видѣ такъ называемой кри-

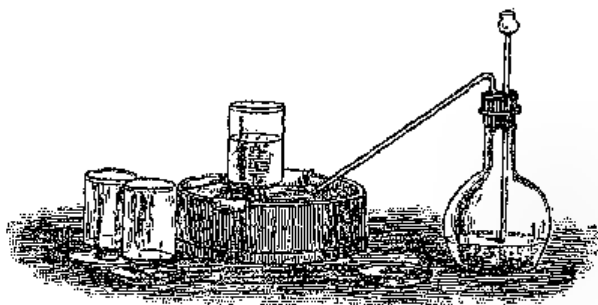


Рис. 34.

сталлизационной воды, какъ напримѣръ гипсъ. Тѣло животныхъ и растеній заключаетъ въ себѣ водородъ, какъ составную часть жировъ, углеводовъ (сахара, крахмала, клѣтчатки) и бѣлковъ, и кромѣ того, въ видѣ воды. Половина человѣческаго тѣла состоитъ изъ воды, а листья молодыхъ растеній, напримѣръ, молодые ростки капусты содержатъ  $98\frac{0}{10}$  воды, т.-е. всего 2 вѣс. части сухого вещества на 100. Добыть водородъ въ чистомъ видѣ очень легко: ставятъ, напримѣръ, подѣйствовать цинкомъ на разбавленную соляную или серную кислоту, въ приборѣ въ родѣ изображеннаго на нашемъ рисункѣ (рис. 34). Химически чистый водородъ представляетъ безцвѣтный газъ, безъ вкуса и запаха. Онъ приблизительно въ 14,5 разъ легче

воздуха <sup>1)</sup>, и поэтому въ свое время употреблялся, какъ легчайшій изъ газовъ, для наполненія аэростатовъ. При сильномъ охлажденіи (см. стр. 75) онъ былъ обращенъ въ жидкость и даже въ твердое тѣло. На холоду и въ темнотѣ онъ соединяется только съ фторомъ, при нагреваніи же— съ довольно большимъ числомъ тѣлъ, въ томъ числѣ и съ кислородомъ <sup>2)</sup>. Если сжигать водородъ въ кислородѣ, то на каждые 2,02 грамма сгорѣвшаго водорода выдѣляется 68 калорій, такъ что этимъ тепломъ можно нагрѣть 680 граммовъ воды до 100°

С. Имѣя въ виду такое громадное количество тепла, можно ясно представить себѣ, какой сильный взрывъ, т.-е. внезапное увеличеніе объема, долженъ произойти въ пространствѣ, наполненномъ смѣсью водорода и кислорода, если туда ввести зажженную лучинку или пропустить электрическую искру. Взрывъ бываетъ особенно силенъ, когда водорода взято 2 объема (2,02 части

по вѣсу), а кислорода 1 объемъ (16 вѣс. частей). Эти части, какъ мы уже знаемъ, отвѣчаютъ пропорціи составныхъ частей воды—продукта соединенія водорода съ кислородомъ.

Можно произвести горѣніе водорода въ кислородѣ безъ взрыва такимъ образомъ, что оба газа будутъ притекать по отдѣльнымъ трубкамъ (рис. 35) и смѣшиваться только

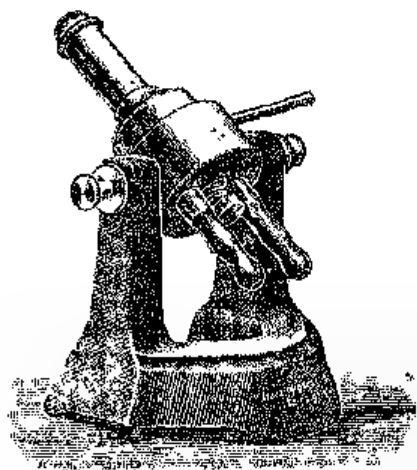


Рис. 35.

<sup>1)</sup> Поэтому его можно собирать въ опрокинутомъ вверхъ дномъ сосудѣ: болѣе легкій водородъ всплываетъ вверхъ, вытѣсняя воздухъ.

<sup>2)</sup> Если зажечь водородъ въ воздухѣ и держать надъ пламенемъ холодный сосудъ, то на сосудѣ появляется сначала роса, а потомъ и большія капли воды.

у самого выхода: тогда внутри пламени водорода (въ воздухѣ) появится струя кислорода и, при надлежащей регулировкѣ крановъ, будетъ поддерживать горѣніе всей струи водорода. Пламя это настолько горячо, что известъ въ немъ раскаляется до бѣла, металлы, даже платина, плавятся, желѣзо и мѣдь, будучи помещены во внутреннюю часть пламени, сгораютъ. Когда примѣняютъ свѣтъ накаленной извести, такъ называемый Друммондовъ свѣтъ, то вмѣсто водорода берутъ болѣе доступный свѣтильный газъ, такъ какъ яркость свѣта отъ этого не очень уменьшается.

Углеродъ встрѣчается въ природѣ въ свободномъ состояніи въ видѣ угля, графита, алмаза и шунгита, въ связанномъ видѣ—въ соединеніи съ кислородомъ въ видѣ углекислаго газа—въ воздухѣ (его около трехъ десяти тысячныхъ по вѣсу) и водѣ, а также въ видѣ различныхъ солей угольной кислоты, соединеній углерода, кислорода и металла, — мѣла, мрамора, известняка, доломита и т. д., а въ соединеніи съ водородомъ въ видѣ нефти, болотнаго и рудничнаго газовъ. Наиболѣе чистый углеродъ представляетъ сажа. Уголь (также графитъ, алмазъ и шунгитъ) представляетъ черное (порошокъ алмаза чѣмъ тоньше, тѣмъ чернѣе), неплавкое и нелетучее тѣло (замѣтное испареніе наблюдается около  $3500^{\circ}$ ), нерастворимое въ извѣстныхъ реактивахъ; только нѣкоторые расплавленные металлы, въ томъ числѣ чугуны и желѣзо, растворяютъ уголь. При обыкновенной температурѣ уголь быстро соединяется только съ фторомъ, при нагреваніи же со многими тѣлами\*). Накаленный въ присутствіи кислорода онъ сгораетъ въ углекислоту, при чемъ изъ 12 граммовъ угля, графита, алмаза или шунгита все равно чего—получается одинаково 44 грамма углекислаго газа. Это смѣжить вѣскимъ доводомъ въ пользу того предположенія,

---

\*) Недавно проф. Муассанъ доказалъ, что уже при  $100^{\circ}$  уголь даетъ замѣтное количество углекислаго газа. Онъ же нашелъ, что сѣра уже при обыкновенной температурѣ постепенно окисляется и даетъ сернистый газъ.

что названный тѣла состоятъ изъ одного и того же элемента—углерода. При сгораніи 12 граммовъ угля въ кислородѣ выдѣляется 96 калорій, т.-е. имъ можно нагрѣть 960 граммовъ воды до  $100^{\circ}$ , при сгораніи другихъ видоизмѣненій нѣсколько меньше. Свойства продукта горѣнія угля въ кислородѣ—углекислаго газа или углекислоты—настолько интересны, что мы нѣсколько подробнѣе опишемъ ихъ.

Въ чистомъ видѣ углекислоту можно получить, накаливая мѣль, мраморъ или известнякъ, которые при этомъ разлагаются, выдѣляя углекислоту и превращаясь въ негашеную известь. Такъ и получаютъ этотъ газъ на сахарныхъ заводахъ, гдѣ оба продукта реакціи находятъ себѣ примѣненіе. Въ лабораторіяхъ же углекислый газъ готовятъ, дѣйствуя соляной кислотой на мраморъ въ приборахъ въ родѣ изображеннаго на рис. 34 или же въ Кипповскихъ аппаратахъ (рис. 36). Чистый углекислый газъ безцвѣтенъ, безъ всякаго запаха, пріятнаго кисловатаго вкуса.

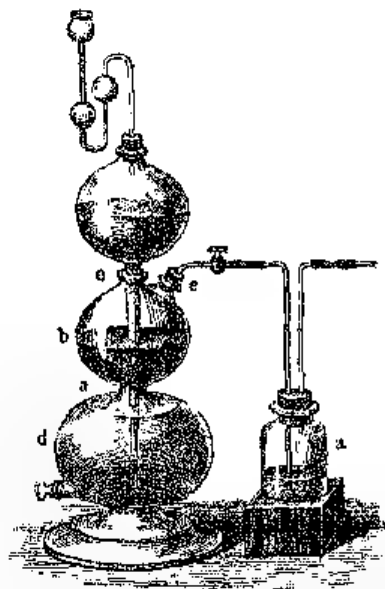


Рис. 36.

Сжатый и охлажденный, онъ даетъ жидкость, кипящую при— $78^{\circ}$ , которая составляетъ предметъ продажи; ее хранятъ въ стальныхъ цилиндрахъ. Быстро испаряясь, жидкость эта замораживаетъ въ снѣгообразную массу. Смѣсь этой твердой углекислоты съ эфиромъ даетъ одну изъ дѣйствительныхъ холодильныхъ смѣсей, такъ температура ея около— $50^{\circ}$ . Углекислый газъ растворяется въ водѣ объемъ на объемъ; растворъ углекислаго газа въ водѣ растворяетъ мѣль, доломитъ и другіе углекислые металлы, выдѣляя ихъ при удаленіи газа или



при высыланіи воды; это свойство его чрезвычайно важно въ жизни земной коры. Углекислый газъ сообщаетъ водѣ свой кислородный вкусъ и употребляется поэтому для газированія воды, квасовъ и т. п. Онъ въ полтора раза тяжеле воздуха и поэтому его можно переливать изъ сосуда въ сосудъ, какъ мы уже описывали. Изъ химическихъ его свойствъ для насъ важны неспособность углекислоты поддерживать горѣніе лучинки и свѣчи <sup>1)</sup>, и образованіе съ известковой водой осадка мѣла. Значить, если газовая окись содержитъ углекислоту, то мы ее легко откроемъ, изболтавъ газы съ известковой водой; образованіе молочной мути, исчезающей отъ соляной кислоты, укажетъ намъ на образованіе мѣла, а слѣдовательно, и на присутствіе углекислого газа въ смѣси. Такимъ образомъ мы легко можемъ убѣдиться, что броженіе винограднаго сока, „поднятіе“ тѣста, дыханіе животныхъ и растеній (лучше всего прослѣдить на прорастающихъ сѣменахъ) сопровождаются выдѣленіемъ углекислого газа. Въ выдыхаемомъ воздухѣ его около 5<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, а воздухъ, содержащій уже только 0,06<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, дѣлается чрезвычайно удушливымъ и невыносимымъ для дыханія. Поэтому понятно, почему углубленія и пещеры въ землѣ, наполненныя углекислымъ газомъ — продуктомъ дѣйствія подземной теплоты на известняки, гибельны для всего живого. Если пропускать чрезъ накаленный уголь углекислый газъ, а это всегда бываетъ, когда горящіе угли насыпаны высокой кучой, то онъ отдастъ углю половину своего кислорода и превращается въ угарный газъ или окись углерода. Присутствіе этой окиси углерода сказывается по синимъ огонькамъ, перебѣгающимъ съ мѣста на мѣсто на такой кучѣ. Ближайшее изслѣдованіе показываетъ, что окись углерода безцвѣтна, безъ запаха и безъ вкуса, мало растворима въ водѣ, сильно ядовита. За-

1) Магній, зажженный въ воздухѣ и опущенный въ сосудъ съ углекислымъ газомъ, продолжаетъ горѣть съ трескомъ, превращаясь въ окись магнія—магнелію и выдѣляя изъ углекислоты уголь.

жженная въ воздухѣ горитъ синимъ, красивымъ пламенемъ. Интересно замѣтить, что 28 граммовъ окиси углерода, т.-е. то количество ея, которое можетъ быть получено изъ 12 граммовъ угля, сгорая въ кислородѣ, даютъ 44 грамма углекислаго газа, при чемъ выдѣляется всего около 68 калорий.

Теперь мы знаемъ довольно объ углеродѣ, водородѣ и кислородѣ и можемъ приступить къ изученію явленій горѣнія. Сравнивая между собой явленія горѣнія сѣры, водорода, фосфора, натрія, угля и желѣза въ кислородѣ, мы замѣчаемъ, что хорошо прокаленный уголь и желѣзо горятъ безъ пламени, всѣ же остальные перечисленные тѣла даютъ пламя болѣе или менѣе яркое. Спиртъ, какъ древесный, такъ и обыкновенный, керосинъ, бензинъ, сѣроуглеродъ — тоже горятъ пламенемъ. Сопоставляя эти факты, приходимъ къ выводу, что пламя получается только въ томъ случаѣ, когда горящее тѣло само по себѣ газъ (водородъ, свѣтильный газъ), или же легко обращается въ пары или газы (фосфоръ, сѣра, бензинъ, керосинъ и т. д.). При этомъ замѣтимъ, что совершенно безразлично сказать: свѣтильный газъ горитъ въ воздухѣ или воздухъ — въ свѣтильномъ газѣ. Опытъ съ обращеннымъ пламенемъ показываетъ намъ это: въ отверстіе ламповаго стекла (рис. 37) вставлены двѣ трубочки: одна сообщается съ воздухомъ, къ другой проведенъ свѣтильный газъ; закрываемъ верхнее отверстіе, пускаемъ сильную струю газа и зажигаемъ его у короткой трубочки. Затѣмъ начинаемъ убавлять притокъ газа и въ то же время открываемъ понемногу верхнее отверстіе стекла. Наступаетъ моментъ, когда пламя появляется у верхняго конца короткой трубочки; усиливаемъ токъ газа, снявши закрывку наверху, и снова зажигаемъ свѣтильный газъ. Тогда у насъ внутри стекла горитъ воздухъ въ свѣтильномъ газѣ, а у отверстія стекла — свѣтильный газъ въ воздухѣ. Такимъ образомъ, пламя есть только мѣсто соединенія горящихъ газовъ. Далѣе мы обращаемъ вниманіе на то, что сѣра и водородъ горятъ блѣднымъ (прозрачнымъ) пламенемъ, а

фосфоръ и натрій — очень яркимъ. Оказывается, что продукты горѣнія патрія и фосфора твердыя, мало летучія

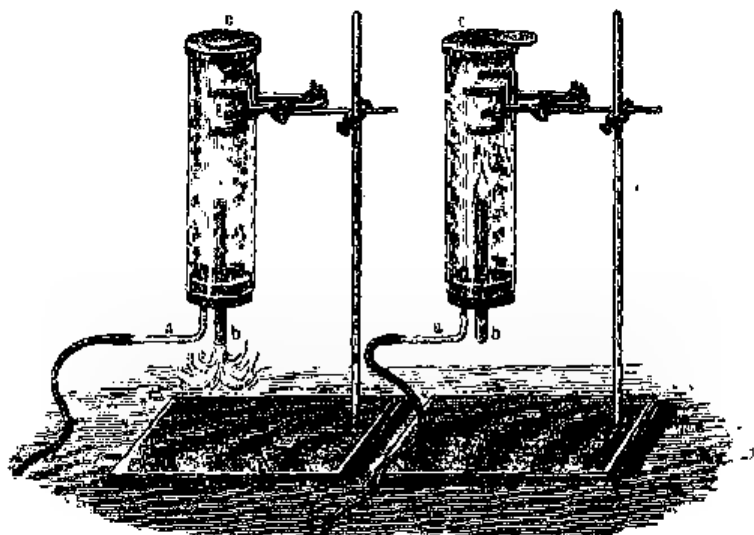


Рис. 37.

тѣла; мельчайшія частички этихъ твердыхъ тѣлъ накаляются и свѣтятся. Мы уже видѣли, что безвѣтное и не свѣтящее пламя водорода можетъ явиться источникомъ сильнаго свѣта, если въ него внести кусочекъ извести твердаго, не летучаго тѣла. Открывая отверстіе барабана буизеновской горѣлки (рис. 38), получаемъ безвѣтное не свѣтящееся, но очень горячее пламя. Всыпаемъ въ него струю опилокъ или просто вносимъ кусочекъ платиновой проволоки или тоненькое волоконецъ азбеста, и пламя даетъ очень сильный свѣтъ. Замѣчательно, что не всѣ тѣла въ одинаковой степени обладаютъ способностью накаливаться до испускающаго

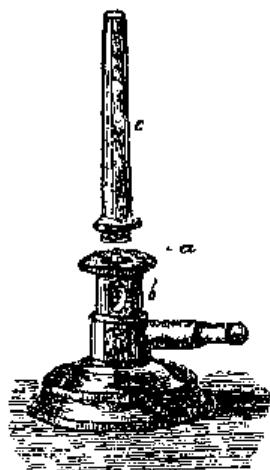


Рис. 38.

ярко-бѣлаго свѣта при одной и той же температурѣ пламени. Если, напр., въ несвѣтящееся пламя бунзеновской горѣлки внести тонкій колпачокъ изъ соединений рѣдкихъ элементовъ церія, торія и т. д., то такой колпачокъ испускаетъ замѣчательно яркій и пріятный свѣтъ. Такимъ образомъ и устроена горѣлка *Ауэра* фонъ-Вейсбаха (рис. 39). Положимъ теперь, что мы зажигаемъ свѣчу. Свѣча (стеариновая) горитъ пламенемъ, и притомъ яркимъ; значить, стеаринъ даетъ при нагрѣваніи пары и, кромѣ того, твердыя нелетучія частицы. Изучая ближе пламя свѣчи, мы увидимъ

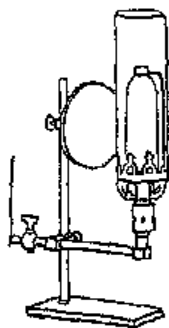


Рис. 39.

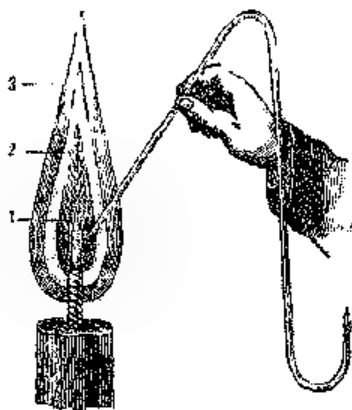


Рис. 40.

въ немъ три конуса: 1) темный, около свѣтильни, 2) желтый и яркій, средний и 3) чуть видный голубой, охватывающій всю свѣчу. Внесемъ въ пламя свѣчи спичку (поперекъ пламени) и увидимъ, что темное мѣсто сравнительно холодное, потому что спичка обугливается только по краямъ. Если пропитать бумагу растворомъ квасцовъ, высушить ее и покрыть этой бумагой пламя свѣчи, то у насъ прогоритъ только кольцо, а не кружокъ; середина пламени значительно холоднѣе краевъ. Вставивъ въ пламя изогнутую внизъ трубочку и держа ее надъ самой свѣтильной, можно отвести темную часть по трубочкѣ и зажечь ее (рис. 40). Проще сдѣлать такой опытъ: когда мы зажигаемъ свѣчу, то пламя медленно раз-

гораются; если же дать ей погорѣть нѣкоторое время, потомъ быстро задуть свѣчу и сейчасъ же поднести къ свѣтильнѣ на нѣкоторомъ разстояніи зажженную спичку, то свѣча вспыхиваетъ сразу полнымъ пламенемъ, какъ газовый рожокъ. Внесемъ въ пламя холодное блюдечко. Оно сейчасъ же покроется сажей. Станемъ осторожно вдвухать въ пламя воздухъ чрезъ оттянутую трубочку, — все пламя приметъ голубую блѣдную окраску, притомъ его температура настолько повысится, что на немъ можно гнуть стекло, паять металлы и т. д. Итакъ, все, что мы говорили о пламени, о его яркости, приложимо вполне къ горѣнію свѣчи: стеаринъ даетъ въ самомъ дѣлѣ газы при накаливаніи и въ этихъ газахъ появляются потомъ твердыя частицы. Каковы же здѣсь превращенія энергіи? Когда мы подносимъ къ свѣчѣ зажженную спичку, то стеаринъ плавится, впитывается свѣтильней и, находясь въ очень раздробленномъ состояніи между волоконцами свѣтильни, быстро испаряется, отчасти разлагаясь. Такъ образуется темная часть пламени. Накаленные газы, главнымъ образомъ состоящіе изъ углеводородныхъ водородовъ, соприкасаясь съ воздухомъ, вступаютъ съ его кислородомъ въ химическое взаимодействіе, при чемъ химическая энергія кислорода и этого горючаго газа, бывшая до тѣхъ поръ въ потенціальномъ состояніи, проявляется въ видѣ кинетической тепловой энергіи. Подъ вліяніемъ сильнаго жара внутреннія части газовой струи разлагаются на уголь и водородъ: часть тепловой энергіи переходитъ въ потенціальную химическую. Водородъ, какъ болѣе легкій и подвижный газъ, проходитъ ближе къ краямъ пламени, а болѣе тяжелыя частички угля нѣкоторое время плаваютъ въ струѣ газовъ, какъ пыль носится въ воздухѣ. Онѣ накаливаются, но сгорѣть не могутъ внутри пламени, такъ какъ нѣтъ достаточнаго количества кислорода. На краю пламени происходитъ полное сгораніе и углерода — въ углекислый газъ, и водорода — въ воду; громадная часть потенціальной энергіи углерода, водорода и кисло-

рода переходитъ въ кинетическую, проявляющуюся въ видѣ тепла. Когда мы вдуваемъ воздухъ внутрь свѣтлаго конуса пламени свѣчи, что частицы угля получаютъ необходимое для полнаго сгоранія количество кислорода, и мы видимъ блѣдное пламя: твердыхъ частичекъ, обуславливавшихъ свѣченіе, теперь уже тамъ нѣтъ. Точно такъ же объясняется и горѣніе дерева, угля и т. п. Пока въ каменномъ углѣ есть еще соединенія, содержащія водородъ и кислородъ (см. выше), онъ можетъ давать газы и летучіе продукты: тогда уголь горитъ пламенемъ. Но проходитъ нѣкоторое время, и уголь только рѣлетъ; горючихъ газовъ онъ не выделяетъ, значить, не будетъ и пламени. Сгребемъ его въ кучу: накаленная уголекислота пройдетъ чрезъ уголь, дастъ окись углерода, и куча угля снова покроется красивыми, синими огоньками.

До сихъ поръ мы говорили только о превращеніяхъ химической энергіи въ другіе виды энергіи, но совершенно не касались вопроса о томъ, можно ли и здѣсь доказать сохраненіе общаго количества энергіи. Нѣкоторые факты, взятые изъ повседневной жизни, отчасти подтверждаютъ это. Такъ, напр., при устройствѣ генераторовъ, т.-е. особыхъ печей, въ которыхъ изъ угля, дровъ, даже торфа получаютъ горючіе газы, заботятся о томъ, чтобы какъ воздухъ, такъ и эти газы попадали въ нагрѣваемое пространство сильно нагрѣанными, потому что только въ этомъ случаѣ можно достигнуть той температуры, которая необходима для приготовленія стекла, добыванія свѣтильнаго газа и т. д. Это показывають намъ, что дѣйствительно нагрѣваніе горючихъ веществъ, безъ котораго немислимо самое горѣніе, совершается на счетъ тепла, выделяемаго при горѣніи; если мы устраиваемъ печь такимъ образомъ, что нагрѣваніе происходитъ на счетъ другаго источника тепла, то часть тепла у насъ сохраняется, и температура самой печи повышается. Небольшой и несложный опытъ въ достаточной мѣрѣ разъяснитъ намъ, какъ сохраняется энергія при различныхъ

химическихъ превращенiяхъ. Если налить въ воду ртути и потомъ бросить на поверхность воды кусочекъ натрiя, то накаленный кусочекъ вращается на поверхности воды, какъ капля воды на горячей плитѣ. Въ результатѣ получается на днѣ неизмѣненная ртуть, въ водѣ растворъ ѣдкаго натра, и выдѣляется водородъ. Если же мы опустимъ кусокъ натрiя, наплавивши его на длинную стеклянную или желѣзную палочку, въ ртуть, то чрезъ нѣкоторое время произойдетъ энергическая реакцiя между ртутью и натриемъ, сопровождающаяся подъ конецъ легонькой вспышкой остатка натрiя. Охладивъ полученную амальгаму, бросимъ ее въ воду; водородъ выдѣляется очень равномерно, и реакцiя сопровождается небольшимъ развитiемъ тепла. Въ результатѣ получаютъ ртуть (не дѣйствующая на воду), ѣдкiй натръ въ растворѣ и водородъ. Ясно, что часть своей энергiи натрiй уже утратилъ, дѣйствуя на ртуть, такъ что реакцiя его съ водою стала гораздо спокойнѣе. Еще въ сороковыхъ годахъ прошлаго XIX вѣка Гессъ продолжалъ рядъ опытовъ, измѣряя тепло, выдѣляющееся при химическихъ реакцiяхъ, и пришелъ къ выводу, что если изъ нѣсколькихъ химическихъ тѣлъ получается новое опредѣленное сочетанiе, то какимъ бы путемъ мы къ нему ни подошли, общее количество тепла, выдѣляющагося при реакцiи, будетъ одно и то же. Можно, напримѣръ, взять негашеную известь и пропускать въ нее хлористый водородъ, потомъ все растворить въ водѣ, измѣряя всякiй разъ количество тепла при реакцiи. Съ другой стороны, можно взять ту же известь, погасить ее водою, растворить полученную гашеную известь въ водѣ, пропустить хлористый водородъ въ воду и полученную соляную кислоту прилить къ раствору извести. Подсчитавъ количество тепла, получаемъ прежнюю величину. Итакъ, переходъ отъ одной системы тѣлъ (негашеная известь, хлористый водородъ, вода) къ другой (хлористый кальцiй, вода) всегда сопровождается выдѣленiемъ опредѣленнаго количества тепла. Понятно, что количества реагирующихъ тѣлъ

надо брать такіа, чтобы не только качественно, но и количественно, обѣ системы, начальная и конечная, были бы вполне тождественны. Этотъ выводъ неоднократно подтверждался изслѣдованіями другихъ химиковъ, изъ которыхъ наиболѣе работали въ этой области; Ю. Томсенъ въ Копенгагенѣ, покойный Ю. Штоманъ въ Лейпцигѣ, М. Бертло въ Парижѣ и В. О. Лугининъ въ Москвѣ; такимъ образомъ, законъ сохраненія энергій оказался вполне справедливымъ и для химическихъ явленій. Этотъ выводъ явится необходимымъ слѣдствіемъ того правила, что количество тепла, выделяющагося при соединеніи двухъ или нѣсколькихъ какихъ-нибудь тѣлъ, естественно равно тому количеству тепла, которое необходимо затратить для расщепленія полученнаго сложнаго тѣла на его первоначально взятая составныя части.

Разберемъ подробнѣе это правило. Допустимъ, что мы нашли пару такихъ тѣлъ, которыя, соединяясь между собой, выделяютъ 100 калорій; для того же, чтобы разложить полученное новое тѣло на первоначально взятая части, пусть требуется всего 95 калорій. Заставимъ наши тѣла соединиться и израсходуемъ все тепло, выделившееся при реакціи на поднятіе груза: на счетъ этого тепла можно поднять 424 килограмма на 100 метровъ. Чтобы получить обратно наши тѣла, намъ придется затратить 95 калорій, т.-е. опустить наши 424 килограмма всего на 95 метровъ. Что же вышло? Было у насъ два тѣла и 424 килограмма на землѣ; мы продѣлали двѣ химическія операціи и получили обратно наши тѣла въ нетронutomъ видѣ и грузъ, поднятый на 5 метровъ отъ земли. Паденіе этого груза можетъ привести въ движеніе любую машину тѣмъ болѣе, что ничто намъ не мѣшаетъ повторить нашу двойной опытъ сколько угодно разъ и, въ концѣ концовъ, совершенно не истративши взятыхъ тѣлъ, поднять 424 килограмма хотя бы на 100.000 метровъ, т.-е. получить любое количество работы изъ ничего. Въ невозможности этого люди убѣдились очень



давно, такъ что поневоли должны усомниться въ вѣрности первоначальнаго предположенія на счетъ неравенства теплотъ образованія и разложенія какого-нибудь тѣла. Если сдѣлать обратное предположеніе, т.-е. что при соединеніи нашихъ тѣлъ выдѣляется всего 95 калорій, а на разложеніе полученнаго сложнаго тѣла идетъ 100 калорій, то, разсуждая по предыдущему, мы придемъ къ выводу такого рода: у насъ было два тѣла и грузъ въ 424 килограмма на высотѣ 5 метровъ; послѣ двухъ химическихъ операцій мы получили прежнія тѣла, а грузъ оказался на землѣ. Куда же дѣвалась та работа, которую грузъ могъ произвести? Разъ ничего новаго у насъ не получилось, то, значить, работа отъ опусканія груза исчезла безслѣдно. Опытъ, однако, убѣдилъ насъ, что этого не бываетъ въ природѣ. Выходитъ, что мы должны признать, что теплота образованія новаго тѣла изъ составныхъ частей и теплота, необходимая для разложенія его на эти части, должна быть одна и та же. Проверить это правило непосредственно очень трудно, даже прямо невозможно, но косвеннымъ путемъ можно. Въ самомъ дѣлѣ если мы отъ одной системы или совокупности тѣлъ переходимъ къ другой, то мы можемъ себѣ представить, что дѣло произойдетъ такимъ образомъ: всѣ тѣла распадутся на элементы,—въ результатѣ получится опредѣленное тепловое измѣненіе, а затѣмъ эти элементы дадутъ новыя тѣла,—опять опредѣленное тепловое измѣненіе; если теплота распада равна теплотѣ соединенія (одного и того же количества однихъ и тѣхъ же элементовъ), да еще при этомъ начальная и конечная группировка—при нѣсколькихъ способахъ перехода—одинаковы, то мы всегда должны, значить, получать одинаковый тепловой эффектъ, какимъ бы способомъ ни совершался переходъ. Эффектъ этотъ будетъ равенъ разности образованія (распаденія) конечной и начальной системъ, т.-е. всегда одинъ и тотъ же. Въ этомъ видѣ легко проверить наше правило, и, какъ мы видѣли только что, изслѣдованія Гесса и другихъ ученыхъ подтвердили вѣрность этихъ раз-

суждений. Такимъ образомъ оказывается, что создать работу изъ ничего или уничтожить ее безслѣдно не удается и при попыткахъ воспользоваться для этого химическими превращеніями. Другими словами, законъ сохраненія энергіи остается въ полной силѣ и для химическихъ превращеній. Ближайшимъ слѣдствіемъ этого закона и является только что приведенное правило, касающееся равенства теплотъ образованія и распадаенія тѣмъ.

Пользуясь этимъ правиломъ, можно сдѣлать цѣлый рядъ любопытнѣйшихъ выводовъ. Существуетъ очень много тѣлъ, состоящихъ только изъ водорода и углерода, которые поэтому и называются углеводородными водородами или углеводородами. Разсмотримъ метанъ или болотный газъ, этиленъ или маслородный газъ и, наконецъ, ацетиленъ. Не будемъ особенно останавливаться на ихъ свойствахъ, а укажемъ только, что всѣ три газа безцвѣтны, мало растворимы въ водѣ, всѣ три горючи, причемъ метанъ горитъ безцвѣтнымъ пламенемъ, этиленъ — свѣтлымъ, но не очень коптящимъ, ацетиленъ — сильно коптящимъ, а при достаточномъ притоцѣ воздуха, ослѣдительно яркимъ пламенемъ. Химики придаютъ метану составъ  $\text{CH}_4$ , т.-е. на 12 граммовъ углерода 4,04 грамма водорода. Въ этиленѣ приходится признавать сочетаніе 24 граммовъ углерода и 4,04 грам. водорода —  $\text{C}_2\text{H}_4$ , и, наконецъ, въ ацетиленѣ — 24 гр. углерода и всего 2,02 грамма водорода —  $\text{C}_2\text{H}_2$ . Ацетиленъ легко добыть изъ кальцій-карбида или, какъ его просто называютъ, карбида, обливши его крѣпкимъ спиртомъ и поочному капая изъ канальной воронки водой (рис. 41); тогда получается равномерная струя чистаго ацетилена. Если смѣчь въ надлежащемъ образомъ приспособленномъ аппаратѣ 16,04 грамма метана, то окажется, что у насъ получится 44 грамма

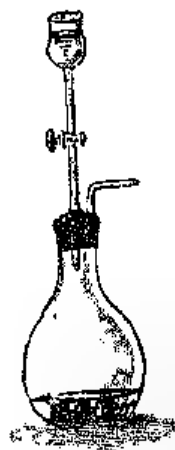


Рис 41.

углекислаго газа и 36,04 грамма воды. Количество тепла, выдѣлявшееся при этомъ будетъ 211,6 калорій. Если сжечь 32,04 грамма этилена, то получится 88 граммовъ углекислаго газа и 36,01 грамма воды. Тепловой эффектъ при этомъ равняется 334 калорій. Повторимъ ту же операцію съ 26,02 грамма ацетиленъ и найдемъ, что получается 88 граммовъ углекислаго газа и 18,02 грамма воды. Калорій выдѣляется 330.

Изъ изученія горѣнія свѣчи мы знаемъ, что такому старанію углеводистыхъ водородовъ можетъ предшествовать распаденіе ихъ на углеродъ и водородъ. Количество ихъ въ каждомъ отдѣльномъ углеводородѣ намъ извѣстно, а именно: углерода послѣдовательно 12, 24 и 24 грамма, водорода 4,04, 4,04 и 2,02 грамма; сколько выдѣлится тепла при горѣніи этихъ количествъ, намъ тоже извѣстно (см. стр. 93 и 95), такъ что мы можемъ составить такую таблицу:

	<i>Метанъ.</i>	<i>Этиленъ.</i>	<i>Ацетиленъ.</i>
<i>A.</i>	211,6	330	310
<i>B.</i>	232	328	260
<i>C.</i>	+20,4	—2	—50

Въ ней обозначаетъ:

- A.* Наблюдаемая теплота горѣнія указанныхъ количествъ газовъ.
- B.* Сумма теплотъ горѣнія углерода и водорода, взятыхъ въ томъ же количествѣ, какъ и въ данныхъ газахъ, но сожженныхъ отдѣльно другъ отъ друга.
- C.* Избытокъ (+) или недостатокъ (—) тепла по сравненіи съ наблюд. теплотой горѣнія.

Объяснить это различіе очень легко, если вспомнимъ, что теплота распада равна теплотѣ образованія. Значитъ, когда 12 гр. углерода соединяются съ 4,04 гр. водорода, то при этомъ выдѣляется 20,4 калорій. слѣдовательно, отдѣльно въ этихъ элементахъ, образовавшихъ метанъ, на 20,4 калорій больше, чѣмъ въ метанѣ. Также и для

этилена находимъ, что при соединеніи 24 гр. углерода съ 4,04 гр. водорода поглощается 2 калоріи. Что же касается ацетиленъ, то здѣсь мы видимъ, что для превращенія 24 граммовъ углерода и 2,02 грамма водорода въ 26,02 гр. ацетиленъ необходимо къ потенциальной химич. энергіи этихъ количествъ взятыхъ элементовъ добавить еще тѣмъ или инымъ способомъ опредѣленное количество энергіи, а именно около 50 калорій. Значитъ, ацетиленъ образуется съ поглощеніемъ тепла, а распадается съ выдѣленіемъ его, оттого-то и получается такое сильное раскалываніе частичекъ угля въ пламени ацетиленъ. Если вѣсто воздуха вводить въ пламя ацетиленъ кислородъ, то по общему правилу горѣніе будетъ происходить быстрѣе, то же количество единицъ тепла будетъ выдѣляться въ меньшіе промежутки времени, и яркость пламени сдѣлается ослабительной. Выходитъ такъ, какъ будто бы углеродъ и водородъ въ ацетиленѣ, такъ сказать, насильственно связаны между собой. Такое соединеніе не можетъ образоваться безъ затратъ вѣншей энергіи, и, дѣйствительно, ацетиленъ образуется изъ угля и водорода только тогда, когда между угольными электродами производятъ въ атмосферѣ водорода вольтову дугу. Съ другой стороны, если помѣстить ацетиленъ въ прочный сосудъ и взорвать на немъ гремучую ртуть, то ацетиленъ со взрывомъ распадается, сильно нагрѣвшись при этомъ, на уголь и водородъ, объемъ котораго будетъ равенъ объему взятаго ацетиленъ. Точно такъ же іодистый азотъ (продуктъ дѣйствія крѣпкаго нашатырнаго спирта на растертый іодъ) образуется съ поглощеніемъ тепла, и достаточно прикосновенія къ нему (высушенному, конечно) легкой пушинки, чтобы вызвать сильный взрывъ и распаденіе на іодъ и азотъ. Понятное дѣло, къ такимъ взрывчатымъ однороднымъ тѣламъ близко примыкаютъ и взрывчатая смѣси: вѣдь и въ нихъ въ скрытомъ потенциальномъ состояніи находится больше энергіи, чѣмъ въ продуктахъ взрыва. Этотъ избытокъ энергіи, выдѣляющійся

обыкновенно въ видѣ тепла, можетъ быть иной разъ прямо переведенъ въ работу, при чемъ машиной, переносящей работу, явятся сами же продукты горѣнія или взрыва. Если эти взрывы происходятъ противъ желанія человѣка, то они вызываютъ ужаснѣйшія несчастія, напр., при взрывахъ газа въ рудникахъ (смѣсь метана съ воздухомъ) или страшные взрывы угольной или мучной пыли. Но тѣ же взрывы, направленные умѣлой рукой, не только разомъ уничтожаютъ огромныя скалы (какъ, напр., взрывъ скалы, заграждавшей входъ въ Нью-Йоркскую гавань, расчистка Днѣпровскихъ пороговъ, проведеніе каналовъ и желѣзныхъ дорогъ), но оказывается въ состояніи, систематически повторяясь, служить двигателемъ въ газовыхъ, керосиновыхъ, бензиновыхъ и другихъ моторахъ. И здѣсь все дѣло въ томъ, что до взрыва смѣсь обладаетъ большимъ запасомъ потенціальной энергіи, чѣмъ послѣ взрыва; избытокъ выдѣляется въ видѣ тепла, которое расширяетъ газъ-продуктъ горѣнія и такимъ образомъ совершаетъ механическую работу.

Но, однакоже, если наша взрывчатая смѣсь (или просто горючее тѣло въ прикосновеніи съ кислородомъ воздуха) обладаетъ такимъ огромнымъ запасомъ потенціальной энергіи, то почему же для проявленія ея въ видѣ кинетической надо прибѣгать къ нагрѣванію, удару, солнечному свѣту, электрической искрѣ и т. д.? Вѣдь такую систему можно сравнить съ неустойчиво поставленнымъ грузомъ, который долженъ падать, и въ самомъ дѣлѣ падаетъ отъ малѣйшаго толчка. Для того, чтобы объяснить это на первый взглядъ странное явленіе, намъ придется немного ближе познакомиться со *скоростями химическихъ реакций*. Дѣло въ томъ, что ни одно химическое превращеніе не протекаетъ мгновенно, а требуетъ для своего окончанія извѣстнаго времени, будь то нѣсколько сотыхъ долей секунды или нѣсколько тысячелѣтій. Въ самомъ дѣлѣ, мы обыкновенно считаемъ порохъ мгновенно воспламеняющимся по всей своей массѣ, однакоже простыя наблюденія надъ пальбой изъ ружей

или артиллерійскихъ орудій показываютъ, что порохъ горитъ сравнительно „медленно“, и, увеличивая величину его зерна, мы можемъ достигнуть такой скорости горѣнія, при которой, пока снарядъ не вылетѣлъ изъ дула орудія, давленіе газовъ будетъ все время возрастать, что является необходимымъ для „наиболѣе полезнаго дѣйствія орудія“, какъ говорится въ учебникахъ артиллеріи. Гремучій газъ—смѣсь водорода и кислорода—тоже не воспламеняется весь мгновенно, а взрывъ переходитъ постепенно отъ одной части его къ другой съ опредѣленною скоростью; хотя эта скорость и очень велика, но Вунзеиу даже удалось опредѣлить ее при различныхъ условіяхъ. Какъ примѣръ медленно идущей реакціи можно привести тѣ измѣненія, которыя происходятъ въ винѣ съ теченіемъ времени: вино постепенно пріобрѣтаетъ особенный вкусъ и ароматъ, теряетъ часть своей кислоты и крѣпости (алкоголя) и т. д. Если изучать подробнѣе эти явленія, то окажется, что скорость реакціи зависитъ прежде всего, конечно, отъ *свойствъ тѣлъ*, вступающихъ во взаимодействіе, во-вторыхъ, отъ *концентраціи* ихъ при реакціи, въ-третьихъ, отъ *температуры*, и, въ-четвертыхъ, отъ *давленія и другихъ внѣшнихъ условій*. Если мы возьмемъ сѣру и фосфоръ и будемъ изучать дѣйствіе на нихъ кислорода, то сразу увидимъ, что при фосфорѣ реакція наступитъ раньше, при болѣе низкой температурѣ, выдѣлитъ большее количество тепла и т. д. Значитъ, можно сказать, что здѣсь между фосфоромъ и кислородомъ обнаруживается существованіе большого запаса энергіи, чѣмъ въ сѣрѣ и кислородѣ, который и дѣлаетъ реакцію болѣе скорой. Подъ концентраціей мы разумѣемъ количество вещества въ единицѣ объема, въ которомъ протекаетъ взаимодействіе. Опытъ показываетъ, что увеличеніе концентраціи или, какъ иначе говорятъ, *химической массы*<sup>1)</sup> всегда влечетъ за собой ускореніе химической

<sup>1)</sup> Понятіе о химической массѣ введено въ химическую науку Гюльбергомъ и Воге въ пятидесятыхъ годахъ прошлаго XIX вѣка, и въ зна-

реакции, такъ что всѣ химическія реакціи дѣлаются медленнѣе и медленнѣе, такъ какъ количество реагирующихъ веществъ съ теченіемъ реакціи постепенно убываетъ. Можно показать, что совершенно одинаковыя количества реагирующихъ веществъ, будучи разбавлены постепенно возрастающимъ количествомъ воды, обнаруживаютъ все болѣе и болѣе замедленный ходъ реакціи: напр. перекись водорода въ присутствіи слѣдовъ желѣзнаго купороса и крахмального клейстера даетъ съ іодистымъ калиемъ синее окрашиваніе. Отмѣривъ одинаковое количество всѣхъ реактивовъ, вливаютъ ихъ разомъ въ 50, 100, 150 и 200 куб. сант. воды и замѣчаютъ, какъ постепенно замедляются явленія синяго окрашиванія въ сосудахъ, по мѣрѣ увеличенія количества воды. Лучинка тлѣетъ въ воздухѣ и ярко вспыхиваетъ въ кислородѣ (химическая масса чистаго кислорода въ 5 разъ больше химич. массы кислорода въ воздухѣ. Водородъ при давленіи въ 16 атмосферъ вытѣсняетъ цинкъ изъ раствора цинковаго купороса, тогда какъ при обыкновенномъ давленіи водорода мы не замѣчаемъ и слѣдовъ этой реакціи. На этомъ увеличеніи скорости реакцій при увеличеніи концентраціи основаны дѣйствія нѣкоторыхъ газовъ, напр., водорода, въ состояніи выдѣленія. Если мы, напримѣръ, станемъ пропускать водородъ въ воду, въ которой разболтанъ порошокъ черной мѣдной окалины—окиси мѣди, то мы ничего особеннаго не замѣтимъ. Если же устроить дѣло такимъ образомъ, чтобы только что выдѣлившійся водородъ дѣйствовалъ бы на окись мѣди (въ нашемъ случаѣ это достигается насыпаніемъ окиси мѣди въ растворъ ѣдкаго кали, въ который погруженъ пучокъ алюминиевой проволоки: ѣдкое кали съ алюминіемъ выдѣляетъ водородъ), то сразу замѣчается образованіе краснаго порошка мѣди. При про-

чительной степени разработано Я. Г. Ванъ,—т.—Гоффомъ. По справедливости можно сказать, что представленіе о взаимодействіи химическихъ массъ сыграло въ химіи почти такую же роль, какъ Ньютоновы законы въ небесной механикѣ.

пусканіи водорода чрезъ растворъ хамелеона ничего не происходитъ особеннаго, но если производить добываніе водорода въ самомъ растворѣ хамелеона, прибавивъ къ нему сѣрной кислоты и бросивъ кусочекъ цинка, то мы замѣтимъ, какъ красно-фіолетовый растворъ мало-по-малу обезцвѣчивается. Дѣло сводится къ тому, что въ *одномъ* объемѣ сѣрной кислоты заключается не менѣе 400 *объемовъ* водорода: легко себѣ представить, какое дѣйствіе онъ можетъ оказывать, выдѣляясь при такомъ сжатіи, когда уже при сжатіи въ 16 разъ онъ вытѣсняется изъ цинковаго купороса цинкъ. Другой очень интересный примѣръ вліянія химической массы на ходъ реакцій представляетъ такъ называемыя *обратимыя химическія реакціи*. Если взять немного уксусной кислоты и абсолютнаго алкоголя (приблизительно равные объемы), смѣшать ихъ и нагрѣвать смѣсь въ горячей водѣ, не давая спирту испаряться, то по прошествіи уже часа мы замѣтимъ образованіе изъ первоначально взятыхъ тѣлъ новаго: стоитъ только вылить смѣсь въ растворъ соды (чтобы нейтрализовать уксусную кислоту и уничтожить такимъ образомъ ея запахъ), какъ мы сейчасъ же услышимъ пріятный освѣжающій запахъ уксусно-этиловаго эфира. Химики нашли, что кромѣ этого тѣла послѣ превращенія образуется вода. Съ другой стороны, если растворить въ водѣ немного уксусно-этиловаго эфира и дать раствору постоять въ теплѣ, какъ нейтральная первоначально жидкость сдѣлается кислой (проба лакмусной бумажкой, конечно) отъ уксусной кислоты. Дѣйствуя на такой растворъ содой и бросая въ него кусочки іода при слабомъ нагрѣваніи, мы получимъ сильный запахъ іодоформа: значить, кромѣ уксусной кислоты у насъ образовался спиртъ. Итакъ, смѣсь спирта и уксусной кислоты даетъ уксусно-этиловый эфиръ („туалетный уксусъ“) и воду, а смѣсь уксуса, эфира и воды—уксусную кислоту и спиртъ. Что же будетъ, если надолго оставить смѣсь уксусной кислоты и спирта въ такихъ количествахъ, въ какихъ эти тѣла обыкновенно вступаютъ въ химическія



превращенія? Опыты (очень точные, замѣтимъ въ скобкахъ) М. Берто показали, что изъ 60 граммовъ уксусной кислоты и 46 граммовъ спирта расходуются на образованіе эфира (получается 58,67 грамма) и воды (получается 12 граммовъ) *только две трети* спирта и кислоты, а оставшаяся треть не вступаетъ въ дальнѣйшую реакцію. Если допустить, что скорость реакціи зависитъ (при постоянствѣ температуры и при одинаковыхъ веществахъ) отъ химической массы тѣла, это явленіе объяснить очень легко. Въ самомъ дѣлѣ, въ началѣ реакціи скорость образованія эфира очень велика, такъ какъ химическая масса спирта и кислоты велика, но чѣмъ больше образуется эфира и воды, тѣмъ медленнѣе и медленнѣе она становится. Съ другой стороны, укс. эфира и воды сначала совсѣмъ нѣтъ, потомъ появляется небольшое количество ихъ, растворенное въ большомъ количествѣ спирта и кислоты; массы укс. эфира и воды малы, и скорость образованія спирта и уксусной кислоты ничтожны. Но массы эти растутъ, а вмѣстѣ съ ними и растетъ количество образующагося спирта. Слѣдовательно, съ одной стороны все меньше и меньше дѣлается скорость образованія эфира, съ другой стороны увеличивается скорость его распада, и долженъ наступить поэтому такой моментъ, когда въ одну секунду столько же образуется эфира и воды, сколько и распадается воды и эфира на спиртъ и кислоту. Понятно, что дальнѣйшаго образованія эфира не будетъ. Правильнѣе сказать, оно будетъ, но на ряду съ этимъ онъ сейчасъ же будетъ исчезать, давая съ водой кислоту и спиртъ, такъ что наша смѣсь (система четырехъ тѣлъ: спирта, кислоты, эфира и воды) будетъ находиться въ *подвижномъ равновѣсіи*. Примѣровъ такого подвижнаго равновѣсія такъ много, что по настоящему надо бы считать всѣ химическія реакціи обратимыми и доходящими по этому только до извѣстнаго *предѣла*. Если предѣлъ (въ нашемъ случаѣ онъ былъ равенъ  $\frac{2}{3}$ ) близокъ къ единицѣ, то *практически* эта реакція считается дошедшей до конца. Надо

прибавить къ этому, что, благодаря приложенію высшей математики (анализа) къ этому ученію о подвижномъ равновѣсіи, мы можемъ, предѣлавши одинъ опытъ съ опредѣленнымъ количествомъ реагирующихъ тѣлъ и опредѣливъ предѣлъ реакціи, заранѣе вычислять этотъ предѣлъ при любомъ количествѣ реагирующихъ веществъ. Замѣчательно, что добытыя опытомъ данныя хорошо согласуются съ вычисленными величинами, что еще болѣе убѣждаетъ насъ въ важномъ значеніи вліянія химич. массы на скорость реакціи. Что касается вліянія температуры, то можно съ увѣренностью сказать, что нѣтъ реакціи, которая бы не ускорялась повышеніемъ температуры. Это обстоятельство очень хорошо согласуется съ принятымъ нами предположеніемъ о тепловомъ движеніи: отъ нагрѣванія увеличивается скорость движенія частицъ, т.-е. возрастаетъ число столкновеній частицъ реагирующихъ тѣлъ съ одной стороны, а увеличеніе движенія внутри самихъ частичекъ подготавливаетъ наступленіе химической реакціи — съ другой. Среднимъ числомъ можно считать, что при повышеніи температуры на  $10^{\circ}\text{C}$  скорость реакціи, т.-е. количество превращаемаго въ единицу времени вещества, удваивается. Давленіе и другія внѣшнія причины въ рѣдкихъ только случаяхъ влечутъ за собой измѣненіе скоростей реакціи (если, конечно, давленіе не увеличиваетъ концентраціи или не повышаетъ температуры, какъ это бываетъ съ газами). Если мы примемъ во вниманіе все только что сказанное, то для насъ станетъ понятнымъ, почему 2,02 грамма водорода, соединившіяся съ 16 граммами кислорода, не даютъ воды, хотя и представляютъ систему очень богатую потенціальной энергіей. Во-первыхъ, мы легко можемъ убѣдиться, что для соединенія водорода съ кислородомъ нѣтъ надобности подносить къ смѣси зажженное тѣло или пропускаемъ чрезъ нее электрическія искры: опытъ показываетъ, что уже при  $400^{\circ}$ , т.-е. ниже температуры кипѣнія сѣры гремучій газъ съ замѣтной, хотя и крайне ничтожной скоростью, превра-

щается въ водяной паръ. Положимъ, что наше предположеніе объ уменьшеніи скорости вдвое при пониженіи температуры на  $10^{\circ}$  окажется справедливымъ вплоть до  $0^{\circ}$  <sup>1)</sup>. При  $390^{\circ}$  скорость будетъ вдвое меньше, при  $380^{\circ}$ —вчетверо и т. д. Словомъ, при  $0^{\circ}$  она будетъ болѣе, чѣмъ въ миллионъ разъ меньше наблюдаемой при  $400^{\circ}$ . Для того, чтобы замѣтить такое медленное превращеніе, необходимы сотни лѣтъ непрерывныхъ наблюденій надъ однимъ приборомъ, что, конечно, невозможно.

Тѣмъ не менѣе, у насъ нѣтъ никакихъ основаній предполагать, что реакція совсѣмъ дѣлается невозможной при температурахъ выше абсолютнаго нуля, и недавнія работы Анри (Henri) Муассана надъ медленнымъ окисленіемъ сѣры и угля (см. примѣчаніе на стр. 94) какъ нельзя лучше подтвердили такое предположеніе. Если же мы пропускаемъ чрезъ гремучую смѣсь электрическую искру, то въ мѣстѣ ея прохожденія температура, а вмѣстѣ съ нею и скорость реакціи и количество выдѣленнаго тепла повышается; тепло передается слѣдующему слою, — скорость реакціи и тамъ возрастаетъ и т. д., такъ что въ концѣ-концовъ получается взрывъ, который по нашей поверхностной оцѣнкѣ происходитъ въ моментъ прохожденія искры чрезъ гремучую смѣсь. Поэтому сила взрыва не только зависитъ отъ количества выдѣляющагося тепла, но также и отъ скорости передачи его отъ мѣста къ мѣсту. Вотъ почему взрывы смѣси ацетилена съ кислородомъ, въ которой оба эти фактора — тепла реакціи и скорость передачи очень велики, отличаются ужасающей силой. При малѣйшей неосторожности, часто не зависящей отъ экспериментатора, могутъ произойти большія несчастія; поэтому не специалисту слѣдуетъ по возможности уклоняться отъ произведенія такихъ

---

<sup>1)</sup> Нѣкоторыя соображенія позволяютъ предполагать, что при большемъ и большемъ пониженіи температуры скорость будетъ уменьшаться болѣе чѣмъ вдвое на каждые  $10^{\circ}$  градусовъ.

опытовъ съ адетиленомъ. Точно такъ же можно ускорить ходъ реакціи, увеличивъ концентрацію: для этого выпустимъ въ нашу газовую смѣсь (1 объемъ кислорода+2 об. водорода) фарфоровый шарикъ (неглазированный), пропитанный мелкой платиной. Платина сгущаетъ газы на своей поверхности, увеличивая ихъ концентрацію, и реакція идетъ—безъ всякаго взрыва—настолько быстро, что уровень ртути въ трубкѣ повышается на нашихъ глазахъ. Подобнаго рода ускорители медленно идущихъ, подчасъ даже вовсе незамѣтныхъ реакцій, неизмѣняющіеся послѣ ея окончанія, носятъ названіе *катализаторовъ*; при описаніи добыванія кислорода изъ бертолетовой соли было упомянуто о томъ, что нагревается смѣсь бертолетовой соли съ перекисью марганца. Перекись марганца является типичнымъ катализаторомъ: въ самомъ дѣлѣ, бертолетову соль можно нагревать даже до плавленія, и если она достаточно чиста, то выдѣленія кислорода или совсѣмъ не замѣчается или же выдѣленіе это крайне ничтожно. Для того, чтобы добиться выдѣленія кислорода изъ чистой бертолетовой соли, приходится чрезвычайно сильно накалывать ее: это значитъ, что бертолетова соль и безъ прибавленія перекиси марганца очень медленно, даже при высокихъ температурахъ, разлагается на хлористый калий и кислородъ. Если же прибавить къ ней перекиси марганца, то уже слабого нагреванія достаточно, чтобы вызвать быстрое и энергическое выдѣленіе газа. По окончаніи реакціи перекись марганца оказывается неизмѣненной. То обстоятельство, что ускореніе реакціи зависитъ отъ количества катализатора, ясно указываетъ, что катализаторъ даетъ съ реагирующими веществами какіе-то непрочные продукты, которые сейчасъ же распадаются и выдѣляютъ въ неизмѣненномъ видѣ вещество, служившее катализаторомъ. Такимъ образомъ мы убѣждаемся въ томъ, что реакціи между веществами, происходящія съ выдѣленіемъ теплоты и быстро идущія при повышенной температурѣ, въ большинствѣ случаевъ протекаютъ и при обыкновенной температурѣ, но со

скоростью почти незамѣтной ири нашихъ способахъ изслѣдованія, ири чемъ небольшое количество тепла, выдѣляющееся въ единицу времени, не въ состояніи замѣтнымъ образомъ повысить температуру всей реагирующей массы и такимъ образомъ ускорить медленно идущую реакцію. Правильное представленіе о химической массѣ и о скорости реакціи поможетъ намъ разобратъся въ парадоксальномъ на первый взглядъ утвержденіи, а именно, что химическое превращеніе не зависитъ отъ формы реагирующихъ тѣлъ. Въ самомъ дѣлѣ, погружая въ растворъ мѣднаго купороса желѣзную пластинку, ножъ, ножницы, кольца, гвозди или опилки, мы всегда замѣчаемъ одно и то же явленіе: синій растворъ дѣлается грязнозеленымъ отъ образованія желѣзнаго купороса, а погруженные въ растворъ желѣзные предметы покрываются красной мѣдью. Съ другой же стороны, мы знаемъ, что желѣзо *въ кусокъ* не горитъ, а если смѣшать желѣзные *опилки* (порошокъ желѣза, Ferrum limatum) съ порошкомъ и сыпать смѣсь въ пламя горящаго на блюдечкѣ спирта, то горятъ только опилки, разбрасывая во всѣ стороны красивыя блестящія звѣздочки, а порошокъ, не загорѣвшись, падаетъ въ блюдечко со спиртомъ и воспламеняется разомъ только тогда, когда уменьшившееся пламя спирта будетъ болѣе продолжительно нагрѣвать его. Очевидно, во второмъ случаѣ идетъ дѣло о скорости реакціи, а не реакціи вообще: большая поверхность мелко-раздробленнаго желѣза позволяетъ реакціи быстро происходить по всей массѣ желѣза, тогда какъ въ случаѣ накаливанія сплошнаго куска, образовавшаяся окалина защищаетъ остальное желѣзо отъ окисленія. Такимъ образомъ, увеличеніе концентраціи и присутствіе катализатора не намѣняютъ количества энергіи, выдѣлившейся или поглощенной во время химическаго процесса, а только увеличиваютъ напряженность процесса, производя въ единицу времени болѣе измѣненіе количества энергіи въ опредѣленной части пространства. Въ жизни земной коры скорость реакцій

играетъ огромную роль: многія тѣла реагируютъ между собою въ такихъ разбавленныхъ растворахъ, что химическія ихъ массы являются чуть ли не бесконечно малыми, но реакція все же идетъ, и по прошествіи часто десятковъ тысячъ лѣтъ образуются не только замѣтныя, но и поражающія своей огромной величиной кристаллы и включенія различныхъ минераловъ. Многія превращенія, недоступныя для наблюденія въ лабораторіи, совершаются постоянно въ природѣ, для которой нѣтъ слишкомъ большихъ промежутковъ времени; только ускоряя реакцію нагреваніемъ или катализаторами, мы можемъ убѣдиться въ ея дѣйствительномъ существованіи и уяснить себѣ, откуда могли появиться въ различныхъ слояхъ земной коры такія тѣла, для которыхъ какъ будто бы нѣтъ *основныхъ* веществъ въ окружающей средѣ.

## ГЛАВА IV.

### Электричество.

Около двухъ съ половиной тысячелѣтій тому назадъ Фалесъ Милетскій замѣтилъ, что янтарь <sup>1)</sup>, если его потереть, пріобрѣтаетъ въ высшей степени замѣчательное свойство, а именно дѣлается способнымъ притягивать нѣкоторыя легкія тѣла, какъ, наврѣмѣрь, соломинки. Это наблюденіе долго оставалось единичнымъ, и только въ началѣ XVIII вѣка Джильбертъ напелъ, что такія же явленія наблюдаются и при натираніи сѣры, стекла, горпаго хрусталя, смолы и т. д. Впослѣдствіи оказалось, что почти всѣ тѣла обнаруживаютъ эту способность притягивать легкія тѣла при натираніи, только одни непосредственно, какъ

<sup>1)</sup> Отсюда и названіе и электричество, такъ какъ янтарь по-гречески „электронъ“ (то ѣ) *электрон*).

напр., смола (рис. 42), каучукъ, стекло и т. п., другія же обнаруживаютъ это свойство только тогда, когда они отдѣлены отъ руки или отъ земли при помощи тѣлъ, названныхъ выше. Таковы, напримѣръ, всѣ металлы. Замѣчательно, что тѣла первой группы — каучукъ, смола, сѣра, стекло и т. п., если ихъ натереть на небольшомъ пространствѣ, *первое время* притягиваютъ соломинки или бумажки *только* натертой частью; всѣ же металлы при аналогичномъ приѣмѣ —

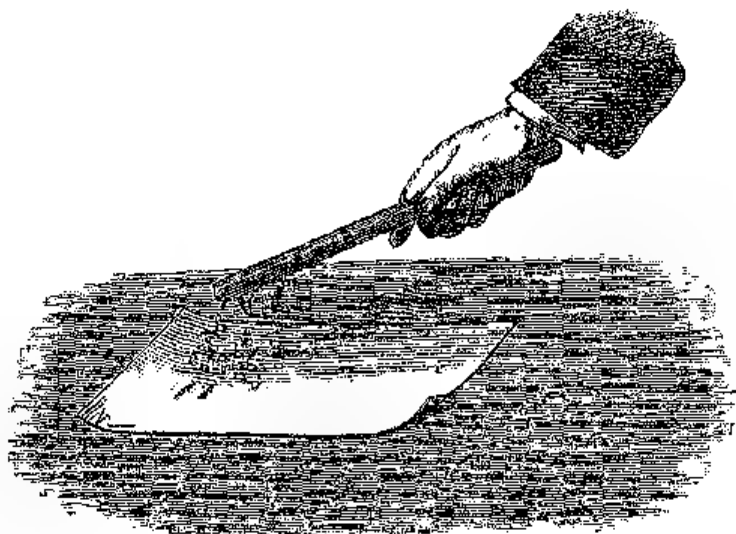


Рис. 42.

протягиваютъ *сейчасъ же* всѣми своими точками. Значить, появившійся новый родъ энергіи (а иначе мы не можемъ объяснить себѣ появленія новыхъ необычныхъ свойствъ) быстро распространяется въ металлахъ по всему тѣлу отъ одного мѣста, при чемъ мы эту способность распространять электрическую энергію уподобляемъ теплопроводности тѣлъ и говоримъ о *болѣе* или *менѣе хорошихъ* (металлы) и *дурныхъ* (стекло, сѣра, каучукъ) *проводникахъ электричества*. Сухой или вѣриѣе не содержащій капелекъ воды воздухъ, газы и пары принадлежатъ къ числу плохихъ проводни-

ковъ или хорошихъ *изоляторовъ*; человеческое тѣло и большая часть составныхъ частей земной коры, наоборотъ, проводить хорошо, поэтому понятно, почему нельзя обнаружить появленія электрической энергіи при натираниі металлическаго бруска, взятаго прямо рукой. Положимъ, что у насъ есть бузиновый шарикъ, подвѣщенный на шелковинкѣ (изоляторѣ). Поднесемъ къ нему натертую флаanelю сургучную палочку (рис. 43), шарикъ притянется къ палочкѣ и сейчасъ же оттолкнется отъ нея (рис. 44). Поднесемъ къ нему сейчасъ же стеклянную палочку, натертую амальгамой (на кожѣ), шарикъ притянется къ ней. Если сблизить два

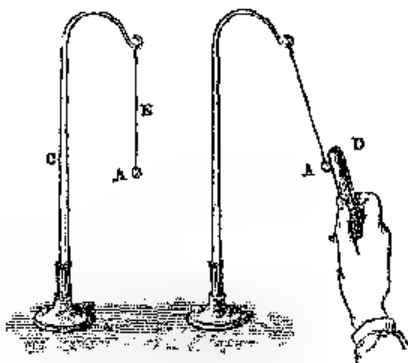


Рис. 43.

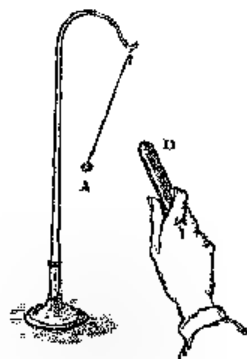


Рис. 44.

такихъ бузиновыхъ шарика, притянувшіеся и сейчасъ же оттолкнувшіеся отъ сургуча и стекла, то они притянутся другъ къ другу. Два шарика, побывавшіе въ соприкосновеніи только со стекломъ, оттолкнутся другъ отъ друга; то же будетъ, если оба они побывали въ соприкосновеніи только съ сургучомъ. Если мы будемъ изслѣдовать такимъ образомъ натертые различныя тѣла, то все они по электрическимъ свойствамъ окажутся сходными или со стекломъ или съ сургучомъ: напр., дерево, перья, шеллакъ, если ихъ тереть мѣхомъ кошени, могутъ замѣнить при опытѣ сургучъ, а бумага или шелкъ, если ихъ тереть объ матовое стекло—стекло, натертое амальгамированной кожей. Такимъ обра-



зомъ можно сказать, что электрическая энергія проявляется въ двухъ видахъ, при чемъ тѣла, несущія одинаковый видъ ея, отталкиваются другъ отъ друга, различный — притягиваются. Съ первыхъ почти времени изученія электрическихъ явленій стали называть электричество при натирании сургуча шерстью — *отрицательнымъ*, а развивающееся при трении полированного стекла объ амальгаму — *положительнымъ*. Благодаря трудамъ Герики, Ньютона, Франклина, Кулона и другихъ физиковъ, скоро накопился цѣлый рядъ новыхъ фактовъ. Такъ, напр., результатомъ изученія явленій при трении двухъ *неодинаковыхъ* тѣлъ явилось важное правило: изъ двухъ натираемыхъ неодинаковыхъ тѣлъ одно электризуется положительно, а другое — отрицательно. При этомъ надо замѣтить, что не только полированное и матовое стекло являются, конечно, неодинаковыми тѣлами (матовое — электризуется отрицательно, полированное — положительно), но и два куска совершенно одинаковыхъ тѣлъ, натираемыхъ другъ о друга въ разномъ направленіи, напр., два куска шелкового фая, натираемые крестъ-накрестъ, электризуются различно. Для насъ это важно уже по одному тому, что въ такомъ случаѣ при натирании намъ приходится затрачивать большую работу, чѣмъ работа простого трения, такъ что источникъ появленія новой энергіи у насъ на лицо. Количественныя измѣренія показали, что во всѣхъ случаяхъ наэлектризованныя тѣла притягиваются или отталкиваются обратно пропорціонально квадратамъ разстояній (законъ Кулона), поэтому оближенные тѣла отталкиваются или притягиваются съ большою силою, такъ, напр., волосы (*сухія*) человека, изолированного отъ земли хотя бы кускомъ стекла, при сообщеніи съ сильнымъ источникомъ электричества становятся дыбомъ. На этомъ свойствѣ наэлектризованныхъ тѣлъ основано устройство *электроскоповъ*, т.-е. приборовъ, позволяющихъ открывать присутствіе электричества. Въ простѣйшемъ видѣ (см. рис. 45) это банка, чрезъ горло которой пропущенъ металлическій стер-

жеиь съ шарикомъ паверху. Внизу къ стержню подвѣшены тонкіе золотые листочки. Если прикоснуться къ шарику наэлектризованнымъ тѣломъ, то оба листочка, конечно, тоже дѣются наэлектризованными одинаковымъ электричествомъ и, слѣдовательно, разойдутся. Въ болѣе сложныхъ и чувствительныхъ приборахъ (напр., въ электрометрѣ Томсона) стрѣлка  $A$  изъ тонкаго листка алюминія подвѣшивается на двухъ нитяхъ — въ металлической цилиндрической коробкѣ  $B$   $B_1$  разрезанной, какъ показано на рисункахъ. 46 и 47. Квадранты  $B$  и  $B_1$  наэлектризованы положительно,  $D$  и  $D_1$  — отрицательно. Если стрѣлкѣ сообщить  $+$  элек-

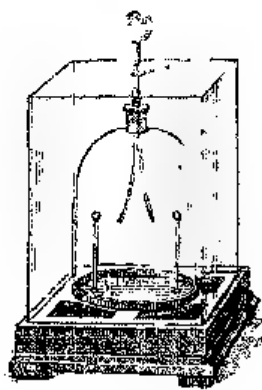


Рис. 45.

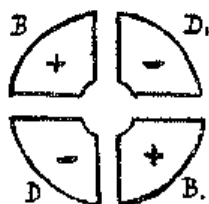
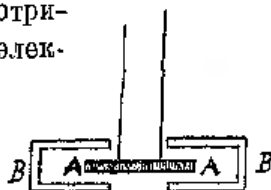


Рис. 46



тричество, то притяженіе ея къ  $D$  и  $D_1$  усиливается отталкиваніемъ  $B$  и  $B_1$ . Рисунокъ 48 изображаетъ электрометръ Бранли со всеми его частями. Пользуясь электрометромъ, можно замѣтить, что нѣтъ надобности прикасаться наэлектризованному тѣлу къ не наэлектризованному, чтобы сообщить ему электрическую энергію; когда мы подносимъ натертую сухомъ каучуковую или сургучную

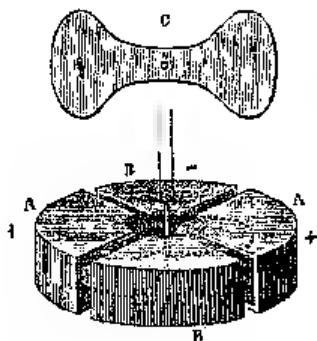


Рис. 47.

палочку къ электromетру, то листочки расходятся. Если, не отводя палочки, прикоснуться на одно мгновение пальцемъ къ шарикy, при чемъ листочки спадутся, и потомъ отвести палочку, то мы увидимъ, что листочки снова расходятся, причемъ оказываются наэлектри-

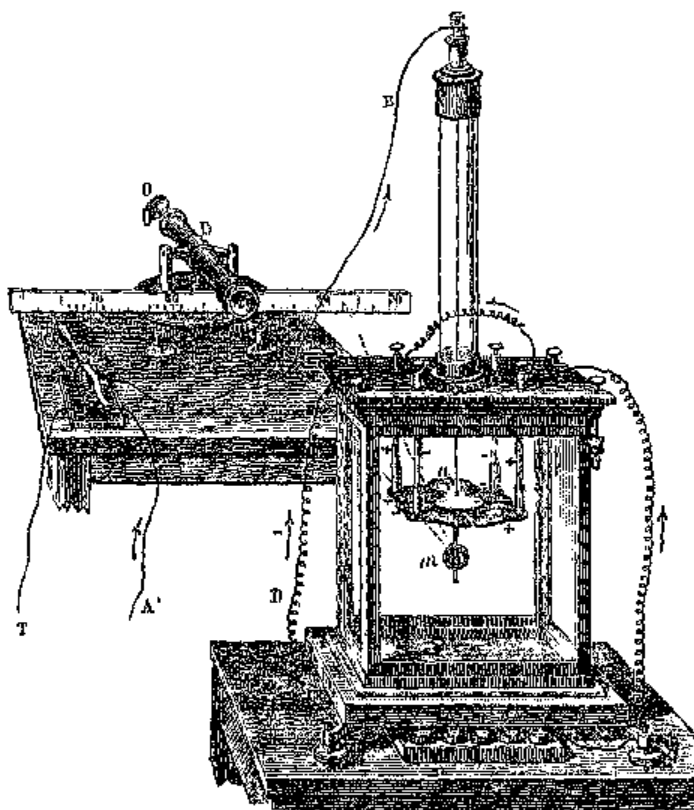


Рис. 48.

зованными положительно. Если теперь прикоснуться къ нимъ пальцемъ, то они спадаются. Слѣдовательно, можно наэлектризовать тѣло при помощи уже наэлектризованнаго тѣла *чрезъ вліяніе*: надо поднести къ проводнику наэлектризованное тѣло, быстро соединить съ землей и затѣмъ удалить электризующее тѣло. На основаніи этого свойства устраиваются различные приборы для

полученія электричества, какъ-то электрофоръ (рис. 49 и 50), электрическая машина съ трепіемъ (рис. 51) и эл. машины съ вліяніемъ (рис. 52); въ электрофоръ натирають смолу, въ электрич. машинѣ—стекло. Смола чрезъ вліяніе электризуетъ металлическій дискъ, стекло — металлическій *кондукторъ*. Въ болѣе сложныхъ машинахъ съ вліяніемъ нѣсколькихъ круговъ, при чемъ первоначально мы подносимъ



Рис. 49.

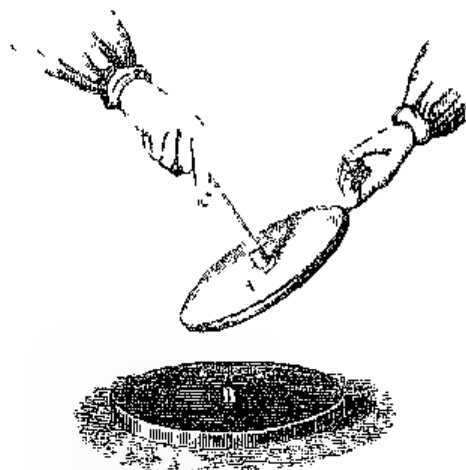


Рис. 50.

къ машинѣ наэлектризованную каучуковую пластинку, дальнѣйшее же дѣйствіе машины основано на размѣщеніи и переносѣ электричества на стеклянныхъ кругахъ во время вращенія одного изъ нихъ. Мы даемъ только рисунки этихъ приборовъ, не описывая ихъ подробно, такъ какъ интересующіеся могутъ найти детальное описаніе устройства и дѣйствія этихъ машинъ въ любомъ руководствѣ по физикѣ. Отмѣтимъ только слѣдующее: 1) во всѣхъ машинахъ источникомъ электрической энергіи является работа



трической машиной. Естественно ожидать, что оба будут находиться въ совершенно одинаковомъ состояніи. Положимъ, что у насъ есть способъ измѣрить отталкиваніе двухъ этихъ шариковъ<sup>1)</sup>. Тогда окажется, что на разстояніи двухъ сантиметровъ шарики отталкиваются съ силой въ одну дину. Присоединимъ къ одному изъ наэлектризованныхъ шариковъ неаэлектризованный, отнимемъ его и снова

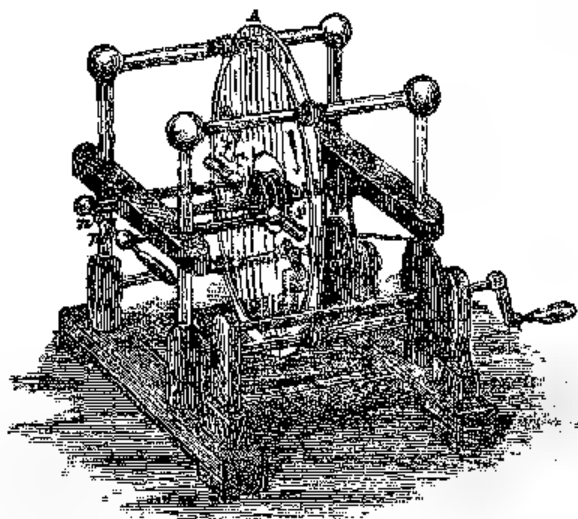


Рис. 53.

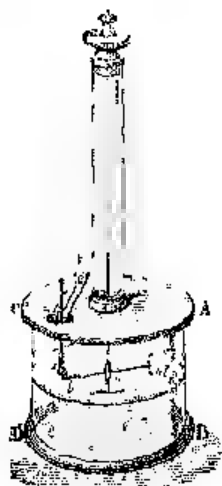


Рис. 52.

опредѣлимъ силу отталкиванія. Она окажется равной половинѣ дины на томъ же разстояніи въ два сантиметра.

Такъ какъ по силѣ дѣйствія можно судить о количествѣ электричества, то мы и заключаемъ, что зарядъ (количество электричества, электрическая масса) во второмъ случаѣ сталъ вдвое меньше. Такимъ образомъ, электричество распредѣлилось между двумя шариками, не убавляясь и не

---

<sup>1)</sup> Такимъ приборомъ могутъ служить *крутильные весы*: одинъ шарикъ укрѣпленъ неподвижно, а другой прикрѣпляется къ рычажку, висящему на нити (рис. 53). Чтобы удержать шарикъ въ соприкосновеніи, приходится закручивать нить. Силу этого закручиванія можно точно опредѣлить.

прирасталъ. Поднесемъ къ проводящему цилиндру съ закругленными краями заряженный положительнымъ электричествомъ шаръ. Если къ цилиндру въ разныхъ мѣстахъ подвѣшены бузиновые шарики на проводящихъ нитяхъ, то они разойдутся по краямъ и останутся слившимися посрединѣ (рис. 54). Удалимъ наэлектризованное тѣло, и шарики спадутся на всемъ цилиндрѣ. Мы уже знаемъ, что при электризаціи наведеніемъ, *послѣ соединенія съ землей*, проводникъ оказывается заряженнымъ противоположнымъ электричествомъ. При ближайшемъ изслѣдованіи рода электричества на концахъ цилиндра, оказывается, что ближайшій

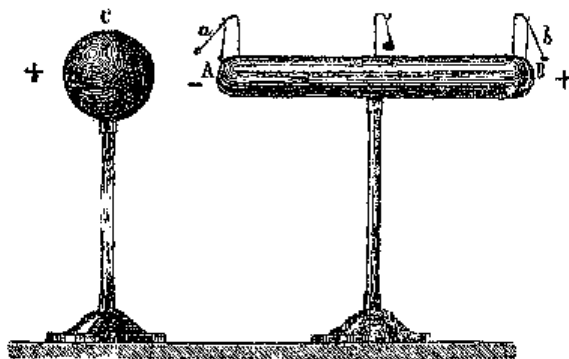


Рис. 54.

къ шару конецъ заряженъ отрицательно, а болѣе отдаленный—положительно. Значитъ, въ нашемъ опытѣ при удаленіи возбуждителя два заряда взаимно поташаютъ другъ друга, и тѣло оказывается въ нейтральномъ первоначальномъ состояніи. Натирая два тѣла, укрѣпленныхъ на изолированныхъ рукояткахъ, другъ о друга, мы увидимъ, что оба тѣла *вмѣстѣ* не обнаруживаютъ заряда, но если ихъ разъединить, то они обнаружатъ равные заряды разныхъ знаковъ. Такимъ образомъ выходитъ, что нельзя вызвать появленія положительнаго заряда безъ того, чтобы одновременно съ нимъ не появился бы равный по величинѣ отрицательный зарядъ. Разъ дѣло идетъ о величинѣ заряда,

то, конечно, надо имѣть единицу для сравненія. Такъ какъ мы судимъ о величинѣ заряда по его дѣйствию, то за единицу (электрическую) количества электричества принимаютъ такой зарядъ, который, дѣйствуя на такое же количество, помѣщенное на разстоянii одного сантиметра, отталкиваетъ его съ силой одной динъ. Чѣмъ большимъ числомъ динъ измѣряется такое дѣйствіе, тѣмъ больше будутъ расходиться золотые листочки электроскопа или закручиваться нити въ электрометрѣ. Однако же, для правильнаго представленія объ электрическомъ состоянii какаго-нибудь проводника приходится изучать дѣйствія различныхъ его частей особеннымъ образомъ. Для этого наэлектризуемъ проводникъ, цилиндръ, шаръ, тѣло неправильной формы—все равно какое, уединимъ его отъ земли, и станемъ сообщать различнымъ точкамъ этого проводника съ электрометромъ, поставленнымъ въ сосѣдней комнатѣ. Понятно, что для этого придется прибѣгнуть къ длинной и тонкой проводящей (металлической) проволоцѣ. Оказывается, что расхожденіе листочковъ или закручиваніе нитей во всѣхъ точкахъ будетъ одинаково и измѣнится только тогда, когда мы измѣнимъ зарядъ такого проводника.

Возьмемъ опять проводникъ неправильной формы, стоящій на изолированной подставкѣ, и приблизимъ къ нему заряженное положительнымъ электричествомъ тѣло. Мы знаемъ, что въ этомъ случаѣ часть, обращенная къ возбудителю, будетъ имѣть отрицательный зарядъ, противоположный—положительный, а нѣкоторыя части не будутъ обнаруживать никакого дѣйствія на подвѣшенные на проводникахъ шарики. Но стоитъ намъ только прибѣгнуть къ длинной и тонкой проволоцѣ для соединенія съ электрометромъ, стоящимъ очень далеко, какъ сейчасъ же обнаружится, по одинаковому расхожденію листочковъ, что всѣ точки такого проводника являются одинаковыми: положительная, отрицательная и нейтральная область даютъ одно и то же расхожденіе листочковъ. Увеличимъ или уменьшимъ



зарядъ возбуждателя, или намілимъ его разстояніе или положеніе относительно нашего проводника, сейчасъ же соотвѣтственнымъ образомъ измѣнится и наведенный зарядъ, по при испытаніи *удаленнымъ электрометромъ* онъ опять окажется одинаковымъ, т.-е. одинаково измѣняемымъ во всѣхъ точкахъ. Такимъ образомъ можно сказать, что состояніе каждаго наэлектризованнаго проводника <sup>1)</sup> можетъ быть охарактеризовано степенью расхожденія листочковъ электрометра, измѣреннаго въ указанныхъ условіяхъ, независимо отъ знака, заряда, формы и величины тѣла и т. д. Это показаніе электрометра и будетъ служить мѣрой электрическаго состоянія тѣла или такъ называемаго *потенціала*. Если соединить два тѣла равныхъ потенциаловъ, то они не претерпѣваютъ никакого измѣненія электрическаго состоянія. Тѣло, сообщенное съ землей, а слѣдовательно и сама земля, не даетъ отклоненія листочковъ электрометра, такъ что мы потенциалъ земли будемъ считать условно равнымъ нулю. Потенціалъ считается положительнымъ (или выше нуля), если онъ вызываетъ увеличеніе расхожденія листочковъ электрометра и отрицательнымъ (ниже нуля), если онъ вызываетъ уменьшеніе этого расхожденія <sup>2)</sup>. На основаніи этого видно, что если у насъ есть два проводника съ разными потенциалами, и мы установимъ между ними сообщеніе, то произойдетъ переходъ положительнаго заряда къ тому проводнику, у котораго потенциалъ меньше.

---

<sup>1)</sup> Для наэлектризованнаго непроводника такое свойство обнаружится, конечно, чрезъ очень большой промежутокъ времени, когда приданный ему въ одномъ мѣстѣ зарядъ будетъ постепенно переходить отъ одной точки къ другой и въ концѣ-концовъ будетъ находится, такъ сказать, въ равновѣсіи. Обыкновенно, впрочемъ, наэлектризованный непроводникъ гораздо раньше теряетъ зарядъ, чѣмъ наступитъ такое распредѣленіе. Поэтому-то мы и говоримъ только о проводникахъ.

<sup>2)</sup> Такимъ образомъ, положительный зарядъ есть, такъ сказать, избытокъ электричества (выше нулевого потенциала), а отрицательный—уменьшенное сравнительно съ нулевымъ потенциаломъ количество. Понятно, что „нуль“ потенциала земли такой же условный нуль, какъ точка таянія льда въ термометрахъ Цельсія и Реомюра.

Здѣсь какъ будто бы происходитъ то же самое явленіе, какъ при сообщеніи двухъ резервуаровъ съ жидкостью, высота уровней которыхъ различна. Поэтому очень часто вмѣсто слова „потенціалъ“ употребляютъ выраженіе „электрическій уровень“. Ничто подобное совершается и съ двумя тѣлами разной температуры, но полной аналогіи между температурой и потенциаломъ провести нельзя, такъ какъ легко убѣдиться, что потенциалъ зависитъ при одномъ и томъ же зарядѣ отъ положенія проводника среди окружающихъ тѣлъ, чего нѣтъ при сообщеніи известнаго количества тепла данному тѣлу. При сообщеніи тѣлу опредѣленнаго количества тепла, температура, какъ мы знаемъ, опредѣляется теплоемкостью тѣла и его количествомъ. Точно такъ же „емкость проводника“ имѣетъ мало общаго съ теплоемкостью, такъ какъ зависитъ только отъ формы проводника и отъ формы и различнаго положенія окружающихъ нагѣ проводникъ другихъ проводниковъ; отъ вѣса и вещества проводника она не зависитъ; поэтому-то мы можемъ говорить о емкости шара или цилиндра опредѣленныхъ размеровъ, удлинненныхъ или находящихся вблизи другихъ проводниковъ, а не о емкости *железнаго* или другою какою-нибудь тѣла. Чѣмъ больше емкость проводника, тѣмъ больший зарядъ необходимъ для полученія опредѣленнаго потенциала<sup>1)</sup>. На этомъ основано устройство *лейденской* (или, какъ теперь предложено ее называть по имени изобрѣтателя *клейстеровской*) *банки* (рис. 55): это стеклянный сосудъ, окле-



Рис 55.

<sup>1)</sup> За единицу емкости проводника принимаютъ зарядъ, который надо сообщить проводнику, чтобы довести его до потенциала, равнаго единицѣ, при чемъ всѣ окружающіе его проводники должны имѣть нулевой потенциалъ, т-е. быть соединенными съ землей.

енный приближаться доверху, снаружи и внутри оловянными листами. Внутренний лист сообщается съ металлическимъ стержнемъ, проходящимъ чрезъ деревянную крышку банки. Если мы соединимъ внутреннюю обкладку съ кондукторомъ электрической машины, а наружную — съ землею (напр., держа банку просто въ рукѣ) (рис. 56), то емкость обкладки будетъ значительно увеличена, такъ что когда потенциалъ обкладки сравнится съ потенциаломъ кондуктора, то на внутренней обкладкѣ будетъ сосредоточенъ весьма большой положительный зарядъ, а на наружной — такой же отрицательный. Точно такое же явленіе замѣчается и на оловянныхъ ли-

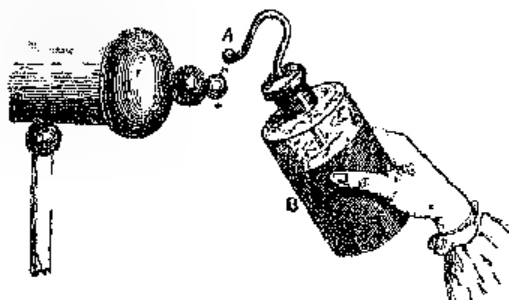


Рис. 56.

стахъ, переложенныхъ парафинированной бумагой такимъ образомъ, что четные оловянные листы выступаютъ въ одну сторону, а нечетные — въ другую; эти выступающіе листы соединяютъ въ два пучка и получаютъ очень удобный *листовой конденсаторъ*. Если обкладки клейстерової банки или конденсатора разъединены, то зарядъ можетъ сохраняться въ сухомъ воздухѣ очень долгое время. Замѣчательнъ тотъ фактъ, что заряды расположены не въ обкладкахъ, а по обѣимъ сторонамъ стекла, парафина, слюды, т.-е. непроводника, раздѣляющаго проводники; въ этомъ убѣдился еще В. Франклинъ, устроивъ разборную банку съ мѣдными обкладками (рис. 57). Надо замѣтить, что отъ этого непроводника (діэлектрика) въ значительной степени

зависитъ емкость конденсатора: конденсаторъ съ стекляннымъ слоемъ обладаетъ емкостью въ 5—6 разъ больше конденсатора, въ которомъ діэлектрикомъ является слой воздуха такой же толщины. Сравнивъ при помощи конденсатора большой зарядъ на проводникѣ, можно при соединеніи обкладокъ проводникомъ наблюдать цѣлый рядъ явленій: тонкіе металлическіе проводники пагрьваются, рыхлятся и даже сгораютъ; попроволочки, какъ-то стекло и бумага, пробиваются насквозь, если ихъ помѣстить между сближеннымъ проводникамъ отъ обкладокъ; при этомъ же расположеніи опыта, смѣсь водорода и кислорода превращается въ



Рис. 57.

воду, эфиръ или нагрѣтый спиртъ загораются, животныя получаютъ сильныя, иногда даже смертельныя, сотрясенія и т. д. При этомъ если концы проводниковъ сближены, то между ними появляется яркая искра, сопровождающаяся легкимъ трескомъ и особымъ запахомъ <sup>1)</sup>. Если же взять нѣсколько балокъ и соединить ихъ между собой, то получаются очень большія, яркія и весьма опасныя искры, совершенно памятующія намъ молнію въ мипіатюрѣ. Въ самомъ дѣлѣ, дѣйствія электрической искры отъ большой электрической машины или отъ батареи балокъ настолько папомп-

<sup>1)</sup> При прохожденіи искръ черезъ воздухъ происходитъ *озонизація* его, т.-е. частичное превращеніе кислорода въ озонъ, а также и образованіе различныхъ соединеній азота съ кислородомъ.

нають намъ мнѣнію, что для насъ нѣтъ теперь никакого сомнѣнія въ томъ, что природа молніи и электрической искры одна и та же. Въ особенности это подтвердили замѣчательные опыты Франклина надъ молніей <sup>1)</sup>, произведенные въ 1749 году. Изучая распребленіе заряда на поверхности проводника, мы путемъ опытовъ и посредствомъ вычисленій (сдѣлавъ нѣсколько вполне допустимыхъ предположеній) придаемъ къ выводу, что съ остриенныхъ проводниковъ электричество будетъ стремиться уйти въ воздухъ, такъ

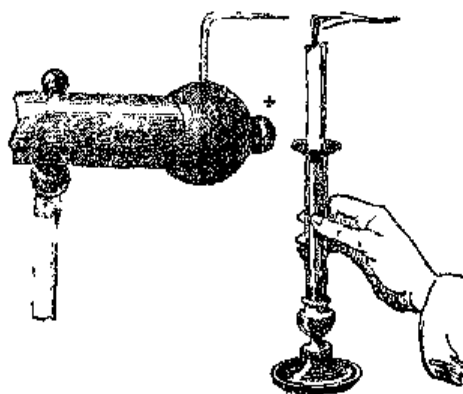


Рис. 58.

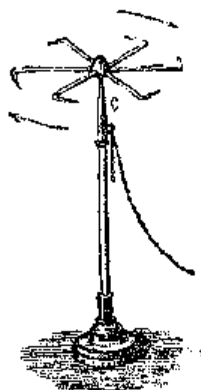


Рис. 59.

что если соединить кондукторъ электрической машины съ остриемъ, то воздухъ около острія будетъ заряжаться положительнымъ электричествомъ; частицы, наэлектризовавшись, будутъ отталкиваться, и мы можемъ обнаружить это отталкиваніе, подводя пламя свѣчи къ острію (рис. 58) или соединивъ кондукторъ съ легкимъ колесомъ изъ загнутыхъ въ одну сторону тонкихъ проволокъ, надѣтыхъ на острый шпекъ: это *Франклиново колесо* будетъ вращаться въ сторону, обратную остріямъ (рис. 59). Замѣчательно, что въ темпотѣ

<sup>1)</sup> Профессоръ С. - Петербургской академіи Рихманъ, современникъ Домошова, былъ убитъ молніей во время такихъ опытовъ,

отъ острія на кондукторѣ (+ электр.) исходитъ фіолетовое сіяніе въ видѣ кисти, а если такое остріе соединить съ подушками машины, то блестящая звѣздочка (— электричество). Значитъ, проводникъ, слабженный остріемъ, быстро потеряетъ свой зарядъ; точно такъ же исчезаетъ зарядъ и изъ проводника, около котораго расположено остріе, соединенное съ землей: проводникъ (положимъ съ + зарядомъ) наведетъ на остріе — зарядъ, а , зарядъ быстро уйдетъ въ землю; — зарядъ, въ свою очередь, быстро удалится изъ острія и перейдетъ въ воздухъ, отрицательно электризованныя частицы котораго сведутъ къ нулю зарядъ проводника. На этомъ принципѣ устроены (впервые Н. Франклиномъ) *громоотводы*: на крышѣ зданія, которое хотятъ предохранить отъ удара молніи, располагается рядъ желѣзныхъ шестовъ съ очень тонкими остріями; отъ шеста ведутъ довольно толстыя металлическія полосы или толстыя проволоки по крышѣ и по стѣнкамъ зданія до самой земли, при чемъ необходимо, чтобы концы проволокъ попали въ слои съ подпочвенной водой, въ колодцы и т. п. Подобнаго рода приспособленіе можетъ удалять электрическіе заряды изъ проходящихъ надъ зданіемъ тучъ, и такимъ образомъ опасность отъ молніи въ значительной степени устраняется. При этомъ надо имѣть въ виду, что громоотводъ въ 10 метровъ вышины охраняетъ площадь круга радіусомъ не болѣе 10 метровъ. Слѣдовательно, на большихъ зданіяхъ надо устанавливать нѣсколько громоотводовъ. Какъ молнія, такъ и электрическая искра отъ машины или батареи очень рѣдко имѣютъ видъ прямой линіи; чаще всего, какъ показываютъ фотографіи, онѣ сильно развѣтвлены и идутъ зигзагами; молнія и искра выбираютъ, такъ сказать, для себя путь не самый короткий, а самый удобный, распространяясь между проводящими частичками пыли, водяными каплями и т. д.

Когда мы дѣлаемъ попытки измѣрить длину молніи и находимъ ее размѣромъ въ нѣсколько верстъ, то естественно, спрашиваемъ себя, откуда могутъ получиться такіе громад-

тые заряды. Если принять во вниманіе громадныя размѣры проводниковъ (облаки, земля, поверхность воды), съ которыми приходится имѣть дѣло въ природѣ, то часть вопроса объясняется сама собой. Что же касается источника такихъ колоссальныхъ запасовъ электрической энергіи, то непосредственные опыты въ такихъ лабораторіяхъ и кабинетахъ даютъ намъ возможность съ извѣстной долей вѣроятія пайти ихъ. Дѣло въ томъ, что явленія окисленія (соединенія съ кислородомъ), горѣнія и другихъ химическихъ процессовъ, какъ показало еще Вольтъ, сопровождаются появленіемъ электрическихъ зарядовъ. Точно такъ же испареніе влечетъ за собой появленіе противоположныхъ по знаку зарядовъ въ парахъ и остающейся жидкости. Такъ какъ всѣ эти процессы, а въ особенности испареніе, совершаются въ природѣ въ огромныхъ размѣрахъ, то неудивительно, что въ результатѣ ихъ получаютъ очень значительные заряды. При этомъ надо принять во вниманіе, что при сліяніи въ облакахъ двухъ водяныхъ капель, на поверхности которыхъ сосредоточены заряды, поверхность новой капли дѣлается меньше суммы ихъ поверхности, что въ значительной степени повышаетъ дѣйствіе заряда. Дѣйствіе такихъ грозовыхъ зарядовъ настолько велико, что его можно сравнить съ дѣйствіемъ массъ въ тысячи килограммовъ, падающихъ съ высоты грозового облака. Явленія, вызывающія накопленіе электрическихъ зарядовъ въ природѣ, настолько разнообразны и многочисленны, что при многихъ намѣненіяхъ другого вида энергій можно ожидать проявленія дѣйствія энергіи электрической, что и подтверждается опытами и наблюденіями: такъ, напр., при расщепленіи пластинки слюды разобъщенныя поверхности получаютъ противоположные заряды; минераль-турмалины, встрѣчающіеся въ кристаллахъ, неодинаковыхъ съ двухъ сторонъ (рис. 60), при нагреваніи обнаруживаютъ электрическія свойства, при чемъ два неодинаковыхъ конца его получаютъ электрическіе заряды разныхъ знаковъ; такія же явленія наблюдаются въ кристаллахъ

борацита и кварца<sup>1)</sup> Сжимая сильно призмы или пластинки, вырѣзанныя изъ турмалина или кварца по различнымъ направленіямъ, мы также получимъ электрическія явленія. При этомъ очень характерно, что если сжатіе по извѣстному направленію вызываетъ появленіе разнозначныхъ зарядовъ на концахъ призмы, то обратно, сообщая этимъ концамъ заряды противоположныхъ знаковъ, мы наблюдаемъ соотвѣтственное сжатіе призмъ или пластинокъ<sup>2)</sup>. Наблюденія показываютъ, что и въ живыхъ организмахъ можетъ проявиться электрическая энергія: электрическіе скаты и угри обладаютъ такимъ сильнымъ электрическими органами, что являются опасными даже для крупныхъ животныхъ; очевидно, что химическіе процессы, происходящіе въ живыхъ организмахъ, пугаются только въ специально устроенныхъ органахъ, чтобы избытокъ энергіи могъ проявляться въ видѣ дѣйствія электрическихъ разрядовъ. Наконецъ, со времени Вольты извѣстно, что въ мѣстѣ прикосновенія металловъ съ жидкостями тоже обнаруживается значительная разность потенціаловъ, которая обуславливаетъ собой цѣлый рядъ электрическихъ явленій. Вотъ на этомъ послѣднемъ источникѣ электричества мы остановимся нѣсколько подробнѣе, такъ какъ изученіе его дастъ намъ возможность познакомиться съ весьма интересными соотношеніями между различными видами энергіи.

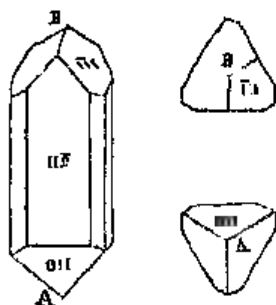


Рис. 60.

1) Эти явленія обыкновенно объединяютъ подъ названіемъ *пирозлектричества* кристалловъ.

2) Эти явленія извѣстны подъ именемъ *пьезоэлектричества* кристалловъ.



## ГЛАВА VI.

### Гальванизмъ.

Въ концѣ XVIII вѣка *Волти*, доискиваясь причины сильныхъ сокращеній мышцъ лягушки, соединенныхъ дугой изъ двухъ металловъ цинка и мѣди съ поленичнымъ первымъ<sup>1)</sup>, нашелъ, что мѣсто возникновенія электричества лежитъ въ точкахъ соприкосновенія разнородныхъ тѣлъ. Переводя его слова на современный научный языкъ, мы должны сказать, что въ случаѣ соприкосновенія двухъ разнородныхъ тѣлъ между ними устанавливается всегда нѣкоторая разность потенциаловъ, зависящая только отъ природы самихъ тѣлъ и измѣняющаяся съ измѣненіемъ температуры; форма, размѣръ, величина соприкасающихся поверхностей, величина потенциаловъ на этихъ поверхностяхъ, — все это не вліяетъ на наблюдаемую разность. Мы уже знаемъ, что эта разность потенциаловъ на двухъ проводникахъ ведетъ за собой при ихъ соединеніи переходъ положительнаго за-электрическаго ряда на тотъ проводникъ, гдѣ потенциалъ меньше. Если теперь представить себѣ, что соприкасающіяся тѣла подобраны такимъ образомъ, что у насъ есть возможность постоянно поддерживать эту разность насчетъ другихъ энергій, напримѣръ, химической или тепловой, то у насъ получится аппаратъ, постоянно развивающій электрическую энергію. Простѣйшимъ примѣромъ такихъ аппаратовъ могутъ служить *вольтовъ столбъ* и *батарея Мелони*. Вольтовъ столбъ (рис. 61) устрояется такимъ образомъ, что между парными кружками, спаянными изъ мѣди и цинка, кладутъ кусочки сукна, смоченные весьма слабой сѣрной

<sup>1)</sup> Открытие этихъ сокращеній принадлежитъ Гальвани, который приписывалъ ихъ дѣйствию разнородныхъ электричествъ, накопляющихся въ нервахъ и мускулахъ только что убитой лягушки.

кислотой. Кружки накладываютъ въ такомъ порядкѣ: мѣдь, цинкъ, сукно, мѣдь, цинкъ, сукно и т. д. Между концами такого столба замѣчается значительная разность потенциаловъ, такъ что мы можемъ, при помощи столба наблюдать цѣлый рядъ электрическихъ явленій. Положительный конецъ столба тотъ, гдѣ въ сукну прикасается мѣдная сторона спаяннаго кружка, а отрицательный — гдѣ на сукнѣ лежитъ цинкъ. Батарея Меллони (рис. 62) состоитъ изъ большого числа небольшихъ прутиковъ сурьмы, спаянныхъ съ прутиками висмута. Такую составную проволоку перегибаютъ такъ, чтобы спаи пришлись въ разные стороны и образовали четырехгранную призму. Небольшая разность температуръ двухъ противоположныхъ сторонъ такого термо-электрическаго столбика достаточна для обнаруженія замѣтной разности потенциалов <sup>1)</sup>. Понятное дѣло, что въ описанныхъ случаяхъ при соединеніи нашихъ проводниковъ (цинка и мѣди или двухъ спаевъ) проводящей проволокой, мы уравниваемъ эту разность, но paying затрата энергій (химической, тепловой) снова возстановляетъ ее, и мы



Рис. 61.

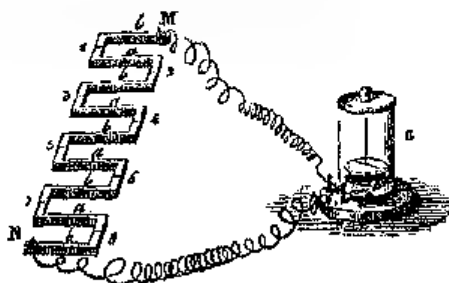


Рис. 62.

<sup>1)</sup> Появленіе электрическаго тока при нагреваніи спаевъ двухъ разныхъ металловъ было впервые замѣчено Зеебекомъ въ 1821 году.

получаемъ постоянный переходъ электричества, т.-е. то, что мы называемъ *гальваническимъ токомъ*. Неудобства при употребленіи вольтоваго столба въ только что описанномъ видѣ, вызвали цѣлый рядъ его видоизмѣненій и усовершенствованій. Такъ, напримѣръ, вмѣсто сухихъ кружковъ, смоченныхъ кислотою, стали употреблять стаканчики съ той же жидкостью, въ которые помещали отдѣльно цинковыя и мѣдныя пластинки. Рис. 63 изображаетъ цѣпь изъ такихъ гальваническихъ элементовъ. Для ослабленія или полнаго прекращенія дѣйствія кислоты на цинкъ въ то время, когда элементъ не работаетъ, надо было употреблять химически

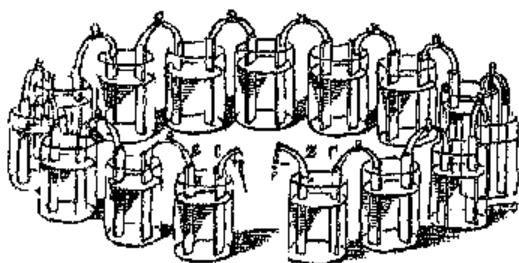


Рис. 63.

чистый цинкъ или же амальгамировать его, натирая ртутью или погружая въ растворъ сулемы <sup>1)</sup>. Много усовершенствованій придумано было для удаленія водорода, который выделяется изъ мѣдной пластинки въ то время, когда обѣ пластинки соединены проводникомъ; этотъ водородъ, соприкасаясь съ металломъ, измѣняетъ поверхность его и тоже

<sup>1)</sup> Положимъ въ вульфову банку кусочекъ чистаго цинка и обольемъ его чистой ( $10\%$ ) сѣрной кислотой. Выдѣленіе водорода не наблюдается, но стоитъ только опустить въ банку платиновую проволоку или даже мѣдную пластинку—прикосновеніе къ цинку необходимо—и сейчасъ же начнется бурное выдѣленіе водорода. Если въ вульфову банку, въ которой растворится продажный нечистый цинкъ въ кислотѣ, прилить раствора сулемы, то выдѣленіе водорода почти мгновенно прекращается, такъ какъ цинкъ покрывается очень тонкимъ слоемъ амальгамы.

вызываетъ значительную разность потенциаловъ, который сильно ослабляетъ первоначальный токъ. Чтобы избѣжать этого—деполяризовать элементы, какъ говорятъ, употребляютъ различные приемы: такъ, напримеръ, погружаютъ оба металла въ различныя жидкости, раздѣленные пористой перегородкой; одну изъ жидкостей подбираютъ такимъ образомъ, чтобы водородъ химически дѣйствовалъ на нее. Въ элементѣ Даниэля (рис. 64) цинкъ погруженъ въ слабую серную кислоту, а мѣдь—въ крепкій растворъ мѣднаго купороса, изъ кото-

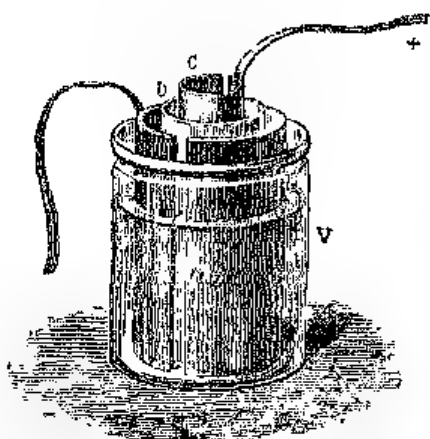


Рис. 64.

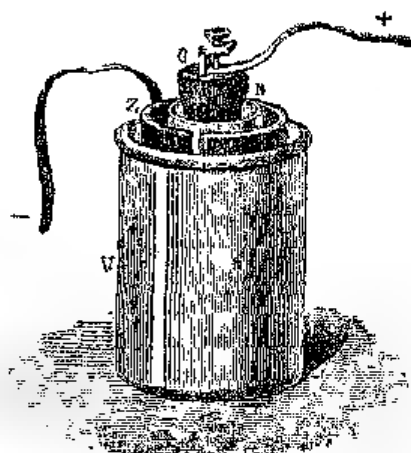


Рис. 65.

рого водородъ выделяетъ мѣдь. Въ элементѣ Лувена (рис. 65) вмѣсто мѣди употребляется газовый графитъ <sup>1)</sup>, или плотный коксъ; при чемъ его погружаютъ въ растворъ двухромовокислого калия съ серной кислотой: эта оранжево-красная жидкость отъ дѣйствія водорода даетъ фіолетовые хромовокалиевые квасцы.

Въ элементѣ Грова металлы цинкъ (въ серной кислотѣ, слабой) и платина (въ крепкой азотной кислотѣ). Водо-

<sup>1)</sup> Газовый графитъ ни что иное, какъ плотный угольный налетъ на стѣнкахъ ретортъ, въ которыхъ накалываютъ уголь для добычянн свѣтлнлаго газа.

родъ превращаетъ азотную кислоту въ соединенія, содержащія больше азота и меньше кислорода, чѣмъ въ азотной кислотѣ, которыя и выдѣляются въ видѣ краснобурыхъ паровъ.

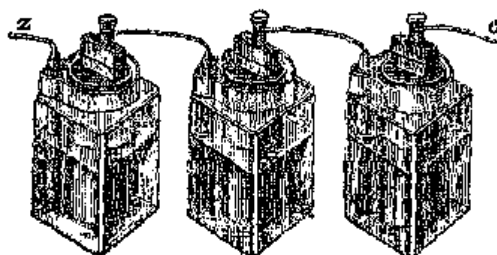


Рис. 66.

Изъ элементовъ съ одной жидкости назовемъ элементъ Девланда (рис. 66), въ которомъ употребляется крѣпкій растворъ нашатыря, при чемъ окислителемъ водорода служить перекись марганца, окисляющая его въ воду.

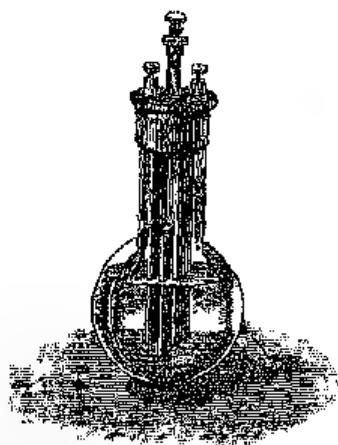


Рис. 67.

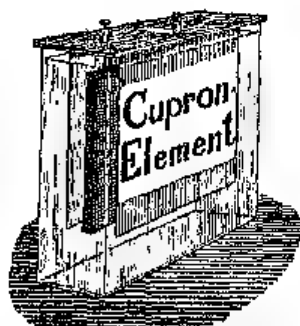


Рис. 68.

Въ элементѣ Гроне (рис. 67) цинкъ и плотный коксъ (газовый графитъ) погружаются въ растворъ сѣрной кислоты и двуххромовокислаго калия. Въ купроновомъ элементѣ Лаланды (рис. 68) цинкъ и сильно спрессованный окись

мѣди погружаются въ растворъ ѣдкаго натра. Окисъ мѣди возстановляется водородомъ изъ мѣди. Что касается аппарата, въ которомъ разность потенциаловъ поддерживается при помощи затраты тепловой энергіи, то чрезвычайно удобной и наиболѣе принятой ихъ формой является термоэлектрическая батарея Гольхора <sup>1)</sup> (см. рис. 69); поддерживая при помощи регулятора одинаковое постоянное давленіе, а слѣдовательно и одинаковую температуру, можно достигнуть довольно постоянной разности потенциаловъ, обусловленной

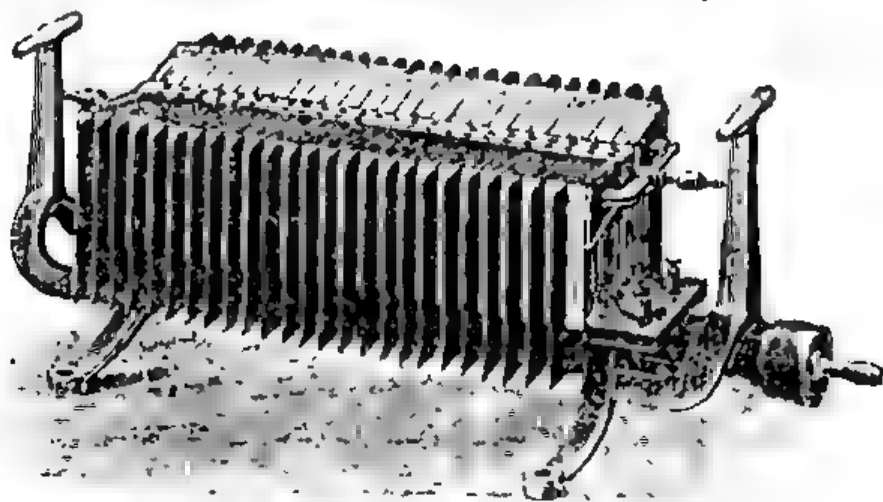


Рис. 69.

ной собою электрическій токъ. Во всѣхъ этихъ элементахъ мы можемъ легко найти источникъ энергіи гальваническаго тока. Такъ, напримѣръ, въ элементѣ Даниэля теплота растворенія цинка въ сѣрной кислотѣ значительно больше того тепла, которое необходимо для вытѣсненія мѣди изъ мѣднаго купороса водородомъ, и избытокъ энергіи т.-е. разность теплотъ двухъ реакцій (въ этомъ элементѣ, зачѣ-

<sup>1)</sup> Во всѣхъ приборахъ такого рода стараются сочетать возможно большую разность потенциаловъ при одинаковой разности температуръ двухъ сплавовъ съ возможно меньшими сопротивленіемъ употребляемыхъ металловъ.

гитъ въ скобкахъ, цѣпикомъ) переходитъ въ электрическую энергію. При этомъ элементъ не мѣняется своей температуры. Если какой-нибудь элементъ при своемъ дѣйствіи нагревается, то, очевидно, разность теплотъ двухъ реакцій переходитъ частью въ тепловую, частью—въ электрическую энергію. Значитъ, разность теплотъ больше проявляющейся электрической энергіи. Если же элементъ охлаждается, то при этомъ электрическая энергія представляетъ величину большую, чѣмъ разность теплотъ реакцій на полюсахъ (анодѣ и катодѣ) батареи; къ этой энергіи надо еще придать ту, которая заимствуется у окружающей среды. Какъ бы то ни было, мы всегда находимъ, что законъ сохранения энергіи является приложимымъ и къ явленіямъ, наблюдаемымъ въ гальваническомъ элементѣ. Разберемъ подробнѣе тепловые и химическія дѣйствія тока. Мы уже видѣли, что при замедленіи движенія кинетическая энергія переходитъ въ энергію молекулярнаго движенія, т.-е. въ тепловую энергію. Аналогичное явленіе будетъ наблюдаться и при прохожденіи тока чрезъ различные проводники. Для того, чтобы лучше представить себѣ всѣ эти явленія, припомнимъ, что у насъ въ элементахъ на разныхъ металлахъ устанавливаются разные потенціалы; если мы соединимъ эти металлы проволокой, то у насъ происходитъ по ней непрерывный переходъ электричества, стремящійся уничтожить эту разность потенціаловъ; разность же поддерживается всегда на одной и той же высотѣ, благодаря химическимъ и отчасти тепловымъ процессамъ въ элементѣ. Кромѣ того, зная, что водородъ съ цинка переходитъ къ мѣди, углю или платинѣ, мы должны имѣть въ виду и движеніе въ противоположномъ направленіи внутри самого элемента. Это очень похоже на струю воды, переливающуюся изъ одного резервуара въ другой, при чемъ оба уровня остаются неизмѣнными, т.-е. разность ихъ высотъ остается при переливаніи постоянной. При этомъ переливаніи чрезъ каждое сѣченіе трубки, соединяющей сосуды, проходитъ одно и то же ко-

личество воды. Скорость движенья, конечно, зависит вообще отъ разности высотъ воды въ обоихъ резервуарахъ, а въ каждомъ отдѣльномъ мѣстѣ—отъ величины сѣченія, т.-е. просвѣта трубки. Понятное дѣло, эта движущаяся масса воды можетъ совершить (и совершаетъ), при подходящихъ условіяхъ, известное количество механической работы; количество это можетъ быть легко вычислено, если мы знаемъ массу воды и скорость ея движенья. Совершенно аналогично только что описанному движенью воды, происходитъ и передвиженіе электричества по проводнику подъ вліяніемъ разности потенциаловъ его концовъ,—и здѣсь каждую секунду чрезъ каждое сѣченіе проводника проходитъ определенное количество электричества. Это количество и представляетъ собой *силу тока*. Опытъ показываетъ, что сила тока и направленіе его одно и то же во всѣхъ частяхъ цѣпи. Понятно, что чѣмъ больше разность потенциаловъ на полюсахъ батареи (она обуславливаетъ скорость движенья электричества) и чѣмъ меньше препятствій представляетъ для прохожденія проводникъ, соединяющій полюсы, тѣмъ больше будетъ сила тока въ цѣпи. Количество же энергіи, вырабатываемое батареей, естественно будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше сила тока, когда проходитъ большее количество электричества) и чѣмъ больше разность потенциаловъ или электродвижущая сила батареи (тогда оно проходитъ быстрее); эта работа можетъ быть вычислена совершенно аналогично тому, какъ мы вычисляемъ величину работы при теченіи известной массы воды между двумя постоянными уровнями <sup>1)</sup>; поэтому всѣ про-

<sup>1)</sup> Приведемъ названія и значенія такъ называемыхъ *практическихъ единицъ* для измѣренія электрической энергіи. Если чрезъ проводникъ проходитъ одинъ *кулонъ* въ секунду, то сила тока равна единицѣ—одному *амперу*. Далѣе сила тока въ цѣпи, обозначенная въ *амперахъ*, равна частному отъ дѣленія электродвижущей силы тока, выраженной въ *вольтахъ*, на сопротивленіе цѣпи, выраженное въ *оммахъ*. Одинъ *кулонъ* равенъ 3.000.000.000, т.-е.  $3 \cdot 10^9$  электростатическихъ единицъ, но сч-



маленькія элеме́нты въ цѣпи должны быть сведены къ количеству  
о́му, выражающему произведе́ніе нѣмъ силы тока на электродви-  
жущую силу. Такимъ образомъ, разъ только замѣчается

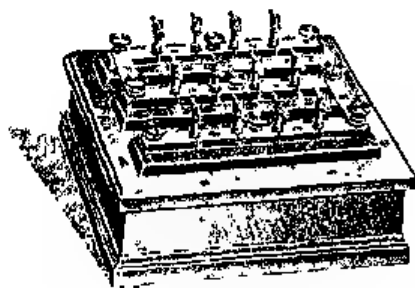


Рис. 70.

сопротивленіе различныхъ металловъ различно (см. таблицу

стена (1. 6. 3. (см. выше) (одно въ джоуль заряжаетъ проводникъ емкостью  
въ одинъ фарадъ до потенціала въ одинъ вольтъ. Работа одного джоуля  
при разности потенціаловъ въ одинъ вольтъ равна одному джоулю  
(Joule). Въ джоуль 10 миллионныхъ эрговъ, т.-е.  $10^7$  эрговъ. Для полноты  
замѣтимъ, что граммokalорія равна 4,17.  $10^7$  эрговъ или 4,15 джоулей.  
Одинъ джоуль, обратно, равенъ 0,24 калорій; наконецъ, килограммометръ  
равенъ 981 джоулемъ. Работа въ одинъ джоуль въ одну секунду равна  
одному ватту. Такъ называемая лошадиная сила (паровая лошадь).  
равная работѣ въ 75 килограммометровъ въ одну секунду, слѣд., равна  
736 ваттамъ. ( $75 \cdot 981 \times 10^3$  эрговъ). Тысяча ваттовъ (киловатты—прини-  
тая единица для рабочей силы машинъ) равна, слѣдовательно, 1,36 лошади. слѣд.  
Для наглядности приведемъ значенія вольта, ома и ампера. Электродви-  
жущая сила элемента Даниэли равна почти одному вольту (1,07 вольта);  
сопротивленіе столба ртути въ одинъ квадратный миллиметръ поперечнаго  
сѣченія и 106 сантиметровъ длиной при 0° равно миллиому (узаконо-  
ному) ому. Такое же сопротивленіе обнаруживаетъ желѣзная телеграфная  
провода въ 4 кв. миллиметра сѣченія и 1 километръ длины. Токомъ въ  
одинъ амперъ въ одну секунду можно выдѣлать 0,001118 граммъ се-  
ребра. Для измѣреній употребляютъ точно провѣренные магазинныя сопро-  
тивленія (рис. 70) и нормальные элементы съ опредѣленной электро-  
движущей силой. Чаще употребляютъ элементъ Латимера Кларка (платина  
въ щиковомъ купоросѣ и ртуть въ сѣрнистой соли закиси ртути).  
Его электродв. сила = 1,435 вольта при 15° С.

XII), то сообразно съ этимъ является и различіе ихъ разогрѣваніе: серебряная проволока, мало нагрѣваясь, пропускаетъ токъ, а платиновая такой же толщины разогрѣвается до яркаго свѣченія <sup>1)</sup>. На этомъ свойствѣ тонкихъ проволокъ основано много примѣненій электрическаго тока. Одно изъ безчеловѣчнѣйшихъ изобрѣтеній нашего вѣка — фугасы и мины — могутъ быть взорваны въ каждый данный моментъ накаливаніемъ тонкой проволоки, помѣщенной внутри заряда этихъ адекихъ орудій; гальванокаустеры, т. е. инструменты, накаливаемые токомъ, находятъ себѣ обширное примѣненіе въ хирургіи (ширимѣрь, удаленіе „полиповъ“ изъ полости носоглотки); проводя сильный токъ чрезъ проволоки, расположенныя внутри кипятильниковъ, плитъ, муфель (см. рис. 71) для сжиганія и прокаливанія и т. п., получаютъ сильное разогрѣваніе, вполне достаточное для многихъ цѣлей. Этотъ источникъ тепла въ особенности удобенъ въ тѣхъ случаяхъ, когда надо поддерживать постоянную и притомъ весьма высокую температуру (градусовъ до 1600° — 1700°); для этого обматываютъ тонкой тугоплавкой проволокой (изъ сплава платины съ иридіемъ) фарфоровые цилиндры, внутри которыхъ помѣщаютъ изучаемыя вещества; регулируя силу тока, можно поддерживать такую температуру въ теченіе очень долгаго времени

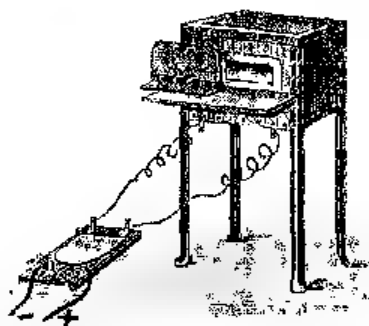


Рис. 71.

<sup>1)</sup> При повышеніи температуры сопротивленіе металлическихъ проводниковъ повышается. Зная это обстоятельство, легко объяснить себѣ слѣдующее явленіе: тонкую платиновую проволоку перегибаемъ въ видѣ W и пропускаемъ чрезъ нее токъ, подбирая его силу такъ, чтобы проволока была не очень сильно накалена. Если одинъ изъ изгибовъ погрузить въ холодную воду, то другой разогрѣвается до яркаго каленія.

большим (не больше  $1^{\circ}$  —  $2^{\circ}$ ) колебаний. На этой же способности тѣло разогрѣваться до яркаго, даже бѣлаго каленія основано устройство электрическихъ лампъ для освѣщенія. Отличаютъ дуговые лампы и лампы накаливанія.

Освѣдительно яркая *вольтова дуга* была впервые получена Г. Дави, который соединилъ концы двухъ углей, соединенныхъ съ полюсами батареи въ 2.000 элементовъ, и тотчасъ же развелъ ихъ. Если изслѣдовать эту дугу, напр.,



Рис. 72.

проектируя ее въ увеличенномъ видѣ на экранъ, то мы замѣтимъ (см. 72 рисун.), что наиболѣе ярко свѣтитъ не сама дуга, а концы углей, при чемъ положительный уголь (соединенный съ анодомъ, полож. полюсомъ батареи) свѣтится и ярче и на большемъ протяженіи. Затѣмъ видно, что на положительномъ углѣ мало-по-малу образуется углубленіе (кратеръ, самое яркое мѣсто), а на отрицательномъ, наоборотъ, пе-

большое заостреніе; отрицательный уголь поэтому сгораетъ медленнѣе положительнаго. Все это должно привести насъ къ заключенію, что въ вольтовой дугѣ совершается переносъ матеріала угля съ положительнаго угля на отрицательный. Вольтова дуга употребляется для освѣщенія, какъ обыкновенныхъ помѣщеній, такъ и маяковъ, прожекторныхъ приборовъ и т. д. Во второмъ случаѣ приходится употреблять болѣе или менѣе сложные регуляторы, удерживающіе свѣтящуюся точку въ опредѣленномъ положеніи относительно зеркалъ и стеколъ (рис. 73. предста-

вляеть ручной регуляторъ); въ первомъ же случаѣ, роль регулятора сводится только къ удержанію углей на опредѣленномъ разстояніи. Можно при этомъ указать на остроумный пріемъ нашего соотечественника Яблочкова, который предложилъ устанавливать уголь параллельно; уголь раздѣленъ непроводящимъ слоемъ и зажигается посредствомъ особеннаго запала (рис. 74). Само собой разумѣется, что и въ свѣчѣ Яблочкова положительный уголь сгораетъ раньше отрицательнаго, потому для освѣщенія этими свѣчами надо

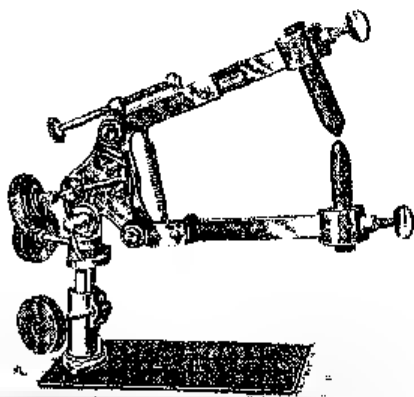


Рис. 73.

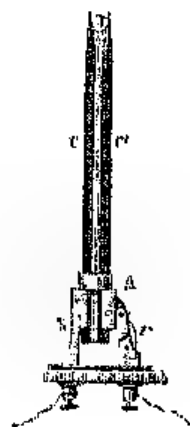


Рис. 74.

пользоваться машинами съ токомъ, постоянно мѣняющимъ свое направленіе. Въ послѣднее время появились дуговые лампы, въ которыхъ источникомъ свѣта является не кратеръ положительнаго угля, а вся дуга. Достигается это такимъ образомъ, что внутри углей въ цилиндрическомъ капалѣ помѣщается особенный составъ изъ химическихъ соединений различныхъ металловъ. Въ жару вольтовой дуги (тысячи три съ половиной градусовъ) эти тѣла испаряются и образуютъ накаленный проводящій слой, который и свѣтитъ, смотря по составу этого „фитиля“, зеленоватымъ, желтымъ или красноватымъ свѣтомъ. При томъ же расхождѣ электрической энергіи развивается большая сила свѣта

такъ, что лампы эти гораздо выгоднѣе обыкновенныхъ. Неудобство ихъ заключается въ томъ, что эти лампы *горятъ*, т.-е. выделяютъ въ охлажденномъ видѣ пары веществъ, входящихъ въ составъ фитиля. Пары эти могутъ быть не безвредны для здоровья, и поэтому такими лампами пользуются только для освѣщенія мѣстъ подъ открытымъ воздухомъ. При этомъ такъ какъ длина дуги очень велика, то вѣтеръ легко можетъ погасить такую лампу,

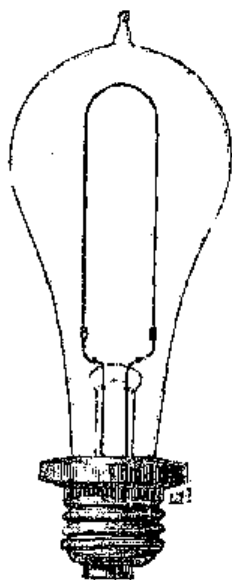


Рис. 75.

и поэтому приходится устраивать приспособленіе, правда, весьма несложное, не позволяющее дугѣ отходить отъ углей. Что касается лампочекъ накаливанія, то въ нихъ подвергается дѣйствію тока обугленное бамбуковое волокно, помещенное въ безвоздушное пространство; съ проволоками отъ батареи оно соединяется тонкими платиновыми проволочками. Для того, чтобы не увеличивать размѣровъ лампочки и достигнуть достаточной силы свѣта, нить изгибаютъ хотя бы такъ, какъ показано на рисункѣ 75. Понятное дѣло, что хорошая лампочка должна давать на всемъ протяженіи нити одинаковую силу свѣта, такъ какъ, въ противномъ случаѣ, при неодинаковой

температурѣ отдѣльныхъ частей, нить будетъ неравномѣрно изнашиваться и скоро разорвется. Чтобы избѣжать этого, приготовленное обугленное волокно подвергаютъ накаливанію токомъ въ атмосферѣ какого-нибудь углеводорода; въ болѣе тонкихъ мѣстахъ угольная нить накаливается сильнѣе, углеводородъ въ этихъ мѣстахъ нагревается отъ этого больше и, слѣдовательно, въ большей степени распадается на уголь и водородъ. Такимъ образомъ въ болѣе тонкихъ мѣстахъ будетъ происходить болѣе обильное отложеніе угля,

и нить лампы мало-по-малу приметъ желаемую и главное равномерную толщину по всей длинѣ. Такая лампа (Эдисона) силою свѣта въ 16 свѣчей требуетъ затраты энергіи въ 0,8 ампера при 100 вольтахъ, т.-е. 80 уаттовъ. Продолжительность ея горѣнія около 1000 часовъ<sup>1)</sup>. Любопытно, что въ свѣтовую энергію (ради которой собственно и устранивается лампа) переходитъ всего только одна двадцатая часть всей энергіи, пропущенной въ лампочку Эдисона, т.-е. всего 4 уатта или около одной калоріи въ одну секунду, остальная часть переходитъ въ тепловую энергію. Это малое количество использованной подлежащимъ образомъ энергіи не будетъ очень удивлять насъ, когда мы узнаемъ, что при горѣніи стеариновой свѣчи изъ *тысячи* единицъ развиваемой при горѣніи энергіи только *три* переходятъ въ свѣтовую, такъ что выгоднѣе пользоваться энергіей для освѣщенія при помощи лампочекъ накаливанія, чѣмъ получать свѣтъ въ видѣ ничтожной доли общей энергіи при явленіяхъ горѣнія. Еще выгоднѣе это при освѣщеніи вольтовой дугой, гдѣ свѣтовая энергія составляетъ безъ малого десятую долю всей энергіи, развиваемой въ динамомашинѣ или батарее. Для полученія дуги съ силою свѣта въ 1000 свѣчей необходимо имѣть силу тока въ 16 амперъ при разности потенциаловъ на углахъ въ 50 вольтъ, т.-е. 750 уаттовъ или немного болѣе лошадиной силы.

Когда мы говорили о сопротивленіи проводниковъ, то съ умысломъ не касались сопротивленія жидкостей: дѣло въ томъ, что только расплавленные металлы и жидкая ртуть, конечно, въ томъ числѣ, способны проводить электрическій токъ, не разлагаясь; всѣ же остальные жид-

<sup>1)</sup> Въ недавнее время появились въ продажѣ электрическія лампочки, въ которыхъ вмѣсто угольного волокна вставлена проволочка, очень тонкая, конечно, изъ рѣдкаго металла *тантала*. Танталъ плавится очень высоко, мало расширяется и вообще труднѣе „изнашивается“, поэтому танталовую проволоку можно сильнѣе накаливать и получать, слѣдовательно, большую силу свѣта.

кости или являются почти не проводниками <sup>1)</sup>, или же измѣняются при прохожденіи тока, разлагаясь при этомъ. Убѣдиться въ томъ, что вода (даже обыкновенная дистиллированная), является очень плохимъ проводникомъ, покажемъ слѣдующій опытъ: возьмемъ обыкновенный электрическій звонокъ и концы проволоки (тамъ, гдѣ находится кнопка) погрузимъ въ дистиллированную воду. Звонокъ не дѣйствуетъ, но начинаетъ сильно звонить, когда мы прибавляемъ къ водѣ каплю сѣрной кислоты, кусочекъ фѣдкаго на-

тра, немного глауберовой или обыкновенной поваренной соли.

Благодаря трудамъ Дови, Фарадея, Гитторфа, Коппауша, Оствальда, Аррениуса и другихъ ученыхъ удалось не только собрать очень много фактовъ изъ этой области знанія, но и разобраться въ этомъ матеріалѣ. Что при прохожденіи тока происходитъ

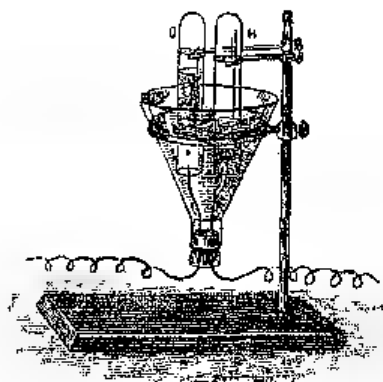


Рис. 76.

химическое измѣненіе раствора, видно изъ того, что растворъ сѣрнокислаго натрія (глауберовой соли), подкрашенный фіалковымъ настоємъ въ синефіолетовый цвѣтъ, окрашивается въ красный цвѣтъ тамъ, гдѣ опущена въ него платиновая пластинка отъ положительнаго полюса батареи, и зеленѣетъ около пластинки отъ отрицательнаго полюса. Растворъ сѣрной кислоты (приблизительно 10-ти процентный), подвергнутый дѣйствию тока въ приборѣ въ родѣ изображеннаго на рисункѣ 76, выдѣляетъ на положительномъ

<sup>1)</sup> Сопротивленіе одного кубическаго сантиметра водопроводной воды можно сравнить съ сопротивленіемъ телеграфной проволоки въ тысячу километровъ длины.

полосъ кислородъ, а на отрицательномъ — вдвое большій объемъ водорода. Это явленіе разложенія подъ вліяніемъ тока носитъ названіе *электролиза*, жидкость, подлежащая электролиту, — *электролитомъ*, пластинки или проволоки, чрезъ которыя пропускается токъ, — *электродами*, при чемъ пластинка отъ положительнаго полюса называется *анодомъ*, а отъ отрицательнаго *катодомъ*.

Въ краткихъ словахъ, главнѣйшія наши свѣдѣнія объ электролизѣ можно выразить слѣдующими положеніями:

1) Расплавленные соли, кислоты и основанія являются электролитами. 2) Растворы солей, оснований и кислотъ въ водѣ (и въ нѣкоторыхъ другихъ жидкостяхъ, какъ-то: древесномъ спиртѣ, ацетонѣ и т. д.) точно такъ же электролиты. 3) Продукты электролиза выдѣляются на электродахъ при любой разности потенциаловъ (при любой электродвижущей силѣ батареи). 4) Постоянное выдѣленіе продуктовъ электролиза требуетъ извѣстной минимальной электродвижущей силы, ниже которой начавшееся разложеніе останавливается чрезъ очень малое время. 5) Количество выдѣленныхъ продуктовъ электролиза пропорціонально прошедшему количеству электричества. 6) Каждый кулонъ электричества, проходя чрезъ растворъ, выдѣляетъ на электродахъ  $\frac{1}{96600}$  часть граммъ-эквивалента составныхъ частей электролита, г.-с.

$\frac{108}{96600}$  граммъ серебра,  $\frac{31,6}{96600}$  граммъ

мѣди для солей окиси,  $\frac{63,2}{96600}$  грамма мѣди для солей за-

киси,  $\frac{23}{96600}$  грамма натрія,  $\frac{35,5}{96600}$  грамма хлора,  $\frac{1}{96600}$

грамма водорода. 7) На анодѣ выдѣляются водородъ и металлы, а на катодѣ: хлоръ, бромъ, іодъ, сѣра и вообще все то, что было въ соединеніи съ металломъ или водородомъ. Положенія 5 и 6 извѣстны подъ названіемъ *законовъ Фарадея*. Многочисленные изслѣдованія показали, что эти законы являются одними изъ точнѣйшихъ извѣстныхъ намъ



законовъ. Поэтому, по количеству выдѣленнаго серебра (одинъ кулонъ выдѣляетъ 0,001118 грам. серебра) или водорода (одинъ кулонъ освобождаетъ 0,00001035 гр. водорода, что отвѣчаетъ объему въ 0,1115 куб. сант. этого газа, приведеннаго къ 0° и 760 мм. давленія), мы можемъ судить о количествѣ протекшаго электричества. Такимъ образомъ, у насъ есть весьма простой и удобный способъ опредѣлять дѣйствительную величину силы тока. Если мы вспомнимъ, что при соединеніи какихъ-нибудь двухъ элементовъ, напр., хлора и натрія, выдѣляется извѣстное количество тепла, то понятно для раздѣленія хлористаго натрія на элементы необходимо затратить то же количество энергіи. Если дальѣ мы вспомнимъ, что работа тока равна произведенію электродвижущей силы на количество электричества, а количество электричества опредѣляется числомъ выдѣленныхъ граммъ эквивалентовъ, то у насъ для каждого тѣла должна получиться минимальная разность потенціаловъ, ниже которой постоянного выдѣленія продуктовъ разложенія нѣтъ. Для воды мы вычисляемъ эту электродвижущую силу въ 1,49 вольтъ. Такимъ образомъ положеніе 4-е является слѣдствіемъ закона сохраненія энергіи въ приложеніи къ электролизу. Что касается положенія 3-го, то оно влечетъ за собой особое, на первый взглядъ очень странное, предположеніе, а именно, что продукты электролиза — іоны — находятся уже въ вѣкоторомъ количествѣ въ растворѣ слабыхъ электролитовъ, напр., такъ называемыхъ органическихъ кислотъ: уксусной, щавелевой, молочной и т. д. Въ растворахъ же сильныхъ электролитовъ (кислоты серная, соляная, азотная, ѣдкіе щелочи, соли калия и натрія и т. д.) даже при большой, сравнительно, концентраціи этихъ веществъ распаденіе на іоны почти полное. Такимъ образомъ, процессъ электролиза сводится къ передвиженію іоновъ—аниона и катиона—къ электродамъ и освобожденію ихъ отъ зарядовъ, которые они несутъ съ собой. При этомъ способность раствора проводить токъ сводится къ переносу зарядовъ

въ аноду и катоду, съ различной скоростью для разныхъ іоновъ. Такъ какъ здѣсь совершается распадъ сложнаго тѣла на іоны, то, конечно, приходится говорить о теплотѣ іонизаціи. Не лишне будетъ указать, что вычисленія теплоты іонизаціи очень хорошо согласуются съ закономъ сохраненія эпергін. Мы только вкратцѣ упоминаемъ объ этомъ допущеніи, такъ какъ оно играетъ громадную роль въ наукѣ, но подробно разсматривать его не будемъ, да и не можемъ. Ограничимся только указаніемъ на то, что громадное количество фактовъ изъ области химіи и физики прекрасно согласуются съ этимъ допущеніемъ, введеннымъ въ науку Свантомъ Аррениусомъ.

Способность расплавленныхъ или растворенныхъ электролитовъ разлагаться при прохожденіи тока находить, какъ и слѣдовало ожидать, массу примѣненій въ практической жизни.

При электролизѣ растворовъ надо обратить вниманіе еще на одно въ высшей степени важное обстоятельство: положимъ, мы подвергаемъ электролизу мѣдный купоросъ (сѣрно-кислую мѣдь: составъ ея мѣдь, сѣра и кислородъ  $CuSO_4$ ) между платиновыми электродами. На отрицательномъ полюсѣ—катодѣ—выдѣляется мѣдь  $Cu$ , а на анодѣ химическое соединеніе сѣры и кислорода,  $SO_4$ , которое съ водой даетъ сѣрную кислоту  $H_2SO_4$  и кислородъ  $O$ . Если взять мѣдные электроды, то анодъ будетъ постепенно растворяться, образуя мѣдный купоросъ, а на катодѣ будетъ отлагаться мѣдь. Точно такъ же при электролизѣ сѣрно-кислаго натрія (сѣра, натрій и кислородъ  $Na_2SO_4$ ) сначала (на платиновыхъ электродахъ) выдѣляется натрій  $Na$  и химическое соединеніе сѣры съ кислородомъ  $SO_4$ . Но оба эти тѣла дѣйствуютъ на воду, и въ результатѣ получается на катодѣ—щелочій натръ  $NaOH$  и водородъ  $H$ , а на анодѣ—сѣрная кислота  $H_2SO_4$  и кислородъ  $O$ . Поэтому надо умѣло подбирать электроды, чтобы избѣжать растворенія вещества электродовъ въ силу вторичнаго дѣйствія. Такъ при анализѣ

электролизомъ хлористыхъ соединеній, падо анодъ дѣлать изъ плотнаго угля, такъ какъ выдѣляющійся хлоръ разъѣдаетъ даже платину. Однимъ изъ этихъ примѣненій является такъ называемая *гальванопластика*: изъ сплава воска и стеарина, или же изъ каучука дѣлается оттискъ медали, монеты, рисунка, словомъ—того предмета, мѣдное изображеніе котораго мы желаемъ получить. Оттискъ натирается для полученія верхняго проводящаго слоя порошкомъ графита или мелко раздробленнаго, такъ называемаго молекулярнаго, серебра и подвѣшивается въ ванну изъ крѣпкаго (насыщеннаго) раствора мѣднаго купороса, къ которому прибавлено нѣсколько сѣрной кислоты. Оттискъ соединяють съ катодомъ батареи, и онъ мало-по-малу покрывается слоемъ мѣди; слой этотъ выполняетъ малѣйшія углубленія оттиска и можетъ быть, конечно, доведенъ до любой толщины. Подобнымъ же образомъ получаютъ *железные* клише для печатанія рисунковъ и чертежей, гравированныхъ или на деревѣ или на металлѣ. Покриваніе слоемъ золота или серебра различныхъ предметовъ, столь необходимое какъ въ домашнемъ быту, такъ и въ техникѣ, удобно производится посредствомъ электролиза. Электролитомъ въ случаѣ серебрянія служитъ растворъ синеродистаго (цианистаго) серебра въ цианистомъ калии, а для золоченія такой же растворъ цианистаго золота, при чемъ послѣдній растворъ чаще всего берется горячимъ. Предметъ, предназначенный для покрытія благороднымъ металломъ, промываютъ послѣдовательно въ разныхъ растворахъ (поташа, десятипроцентной сѣрной кислоты, смѣси сѣрной, азотной и соляной кислотъ, сулемы) для удаленія жира, окисловъ и т. п. тѣлъ, мѣшающихъ правильному отложенію металла, и подвѣшиваютъ въ ванну къ катоду; анодомъ служитъ кусокъ золота или серебра, который въ силу вторичныхъ химическихъ явленій мало-по-малу переходитъ въ растворъ и поддерживаетъ необходимое содержаніе золота или серебра въ растворѣ. Способъ этотъ удобенъ въ особенности потому, что здѣсь можно съ

большой точностью отложить на предметах слой золота или серебра желаемой толщины. На вторичном дѣйствіи тока основана такъ называемая *электролитическая рафинировка* мѣди. Дѣло въ томъ, что даже изъ самыхъ чистыхъ кислородныхъ и углекислыхъ рудъ мѣди невозможно получить мѣдь той степени чистоты, которая требуется для электротехническихъ цѣлей, главнымъ образомъ для проводовъ. Очистка химическимъ способомъ и сложна и не всегда приводитъ къ желаемой цѣли, такъ что лучшимъ способомъ является такой: растворъ мѣднаго купороса подвергаютъ электролизу, при чемъ анодомъ служатъ пластинки изъ продажной мѣди, а катодомъ — тонкія пластинки чистой мѣди. Мы уже знаемъ, что въ этомъ случаѣ на катодѣ мѣдь отлагается, а на анодѣ переходитъ въ растворъ, всѣ же примѣси или остаются въ растворѣ (железо, цинкъ) или же падаютъ на дно (серебро, золото).

Точно такъ же можно достигнуть выдѣленія простыхъ тѣлъ путемъ электролиза расплавленныхъ или просто сильно разогрѣтыхъ сложныхъ соединений. Впервые это было произведено въ 1807 году Г. Деви, который выдѣлялъ изъ ѣдкихъ щелочей, считавшихся до того времени неразложимыми, новые металлы — калий и натрій. Для этого онъ соединялъ кусокъ ѣдкой щелочи съ анодомъ, а катодъ погружалъ въ ртуть, палитую въ углубленіе, сдѣланное въ кускѣ. Подъ дѣйствіемъ сильнаго тока ѣдкая щелочь разогрѣвается почти до плавленія и является въ этомъ видѣ хорошимъ проводникомъ тока. Выдѣляющійся въ свободномъ видѣ металлъ растворяется въ ртути, образуя амальгаму. Ртуть можно удалить, испаряя ее въ атмосферѣ водорода, и такимъ образомъ получить чистые щелочные металлы. Разложенія ѣдкихъ щелочей Деви и „подкисленной воды“ Никольсономъ и Карлейлемъ произвело такое впечатлѣніе, что, по словамъ историка химіи, „всякій, у кого была паралиннихъ талеровъ, покупалъ себѣ вольтовъ столбъ и производилъ всѣ возможныя и невозможныя разложенія“, при



упала за послѣдніе годы, хотя спросъ на нихъ и возрастаетъ. Наконецъ, говоря о химическихъ дѣйствіяхъ тока, нельзя не указать на такого рода процессы, гдѣ, собственно говоря, нѣтъ настоящаго электролиза, а только процессъ, идущій легко при необычайной высокой температурѣ электрической печи, которую мы уже описывали. Такъ, напримѣръ, если накаливать въ электрической печи смѣсь угля съ негашеной известью (составъ: кальцій и кислородъ —  $\text{CaO}$ ), то при высокой ( $3500^\circ$ ) температурѣ печи уголь отнимаетъ кислородъ отъ кальція и даетъ окись углерода  $\text{CO}$  и металлическій кальцій, который химически соединяется со избыткомъ угля, образуя кальцій-карбидъ  $\text{Ca C}_2$ . О примѣненіи кальцій-карбида намъ уже приходилось говорить въ главѣ о химическихъ превращеніяхъ. Аналогичнымъ образомъ изъ смѣси угля и песка получается въ электрическихъ печахъ *карборундъ* (химическое соединеніе кремня и углерода), незаменимое тѣло для шлифовальныхъ круговъ, сверлильныхъ машинъ и другихъ подобныхъ инструментовъ и приборовъ, гдѣ приходится пользоваться чрезвычайно твердымъ (способнымъ проводить черты на другихъ тѣлахъ) тѣломъ. Въ послѣднее время добываніе бѣлѣйшей извести, ѣдкаго натра, бертолетовой соли, даже многихъ органическихъ красокъ, употребляемыхъ въ ситцечатаи, значительно упростилось и удешевилось, благодаря примѣненію химическаго дѣйствія тока.

Говоря о положеніяхъ, установленныхъ физиками и химиками примѣнительно къ явленіямъ при электролизѣ, мы сказали въ изложеніи 3-мъ, что для выдѣленія продуктовъ электролита на электродахъ достаточно ничтожно малой электродвижущей силы; но если мы захотимъ продолжать электролизъ при этой электродвижущей силѣ, то выдѣленіе іоновъ на электродахъ скоро соеѣмъ прекратится. Опытъ показываетъ, какъ мы уже говорили раньше, что въ этомъ случаѣ на электродахъ, соприкасающихся съ продуктами раз-

ложеиъ электролита, обнаруживается значительная разность потенциаловъ, которая и можетъ служить источникомъ новаго тока, идущаго въ обратномъ направленіи. Въ самомъ дѣлѣ, производя разложеніе слабой сѣрной кислоты токомъ въ сосудѣ, изображенномъ на рисункѣ 78, мы получимъ въ одномъ цилиндрикѣ (на анодѣ) кислородъ, а въ другомъ (на катодѣ) — водородъ. Собирая достаточное количество обоихъ газовъ, прекратимъ дѣйствіе батареи и соединимъ проволокой концы платиновыхъ электродовъ, вставленныхъ въ цилиндрики. Оказывается, что въ проводокъ замѣчается очень сильный токъ, идущій отъ кислороднаго цилиндрика къ водородному, т. е. въ направленіи обратномъ тому, въ которомъ шелъ токъ при электролизѣ. Соединеніе нѣсколькихъ такихъ сосудовъ образуетъ такъ называемую газовую батарею Грова; она дѣйствуетъ до уничтоженія газовъ и даетъ очень сильный токъ при большой электродвижущей силѣ. Это явленіе поляризаціи электродовъ назвалъ Гастона Пляте на мысль устроить приборъ, въ которомъ

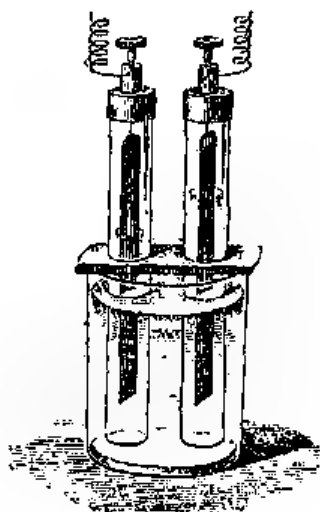


Рис. 78.

можно было бы накоплять энергію тока и потомъ расходовать ее по мѣрѣ надобности. Подобные приборы получили названіе *аккумуляторовъ* и въ простѣйшемъ видѣ состоятъ изъ двухъ свинцовыхъ электродовъ въ видѣ спиральныхъ листовъ, раздѣленныхъ слоемъ каучука и погруженныхъ въ слабую сѣрную кислоту (рис. 79). Процессы при зарядженіи аккумуляторовъ и при дѣйствіи его теоретически очень сложны, такъ что мы представимъ ихъ въ очень грубомъ видѣ: при пропусканіи тока чрезъ сѣрную (слабую) кислоту, на анодѣ получается кислородъ, а на катодѣ—во-

дородъ. Водородъ частью поглощается (окклюдируется) свинцомъ, частью выдѣляется въ свободномъ видѣ, а кислородъ дѣйствуетъ (вторичное дѣйствіе) на свинецъ электрода и покрываетъ его слоемъ окисловъ. Если соединимъ теперь обѣ пластинки проволокой, то получимъ въ одной жидкости два разнородныхъ тѣла, имѣющія известную разность потенциаловъ, даютъ токъ, при чемъ окись свинца переходитъ въ металлическій свинецъ, а металлическій свинецъ другой пластинки окисляется. При вторичномъ пропусканіи тока, т.-е. заряданіи аккумулятора, выдѣляющійся на катодѣ водородъ восстанавливаетъ эти окислы свинца, обращая ихъ въ *рыбный* металлическій свинецъ, а кислородъ на катодѣ даетъ снова окислы. Надо замѣтить, что эта *рыбная* среда на самомъ дѣлѣ усложняется тѣмъ, что въ реакціяхъ принимаетъ участіе серная кислота. Повторяя пропусканіе тока и потомъ соединеніе электродовъ нѣсколько разъ, мы достигнемъ значительнаго разрыхленія этихъ поверхностей свинца, такъ

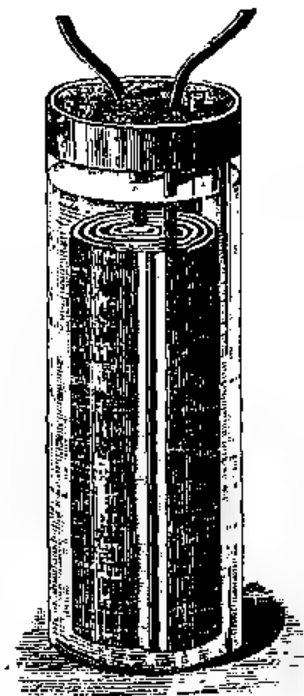


Рис. 79

что онѣ могутъ поглощать большое количество кислорода и водорода, и, слѣдовательно, при соединеніи пластинокъ проволокой, давать большое количество электричества при значительной разности потенциаловъ — до двухъ вольтъ. Въ настоящее время существуетъ много системъ аккумуляторовъ; всѣ онѣ стремятся, конечно, къ тому, чтобы накопить возможно большее число кулоновъ на одинъ и тотъ же вѣсъ свинца. Въ употребительнѣй-



шнхъ изъ нитъ удерживающа рѣшетки (рис. 80) въ проч-  
нѣе, чѣмъ и въ рѣшеткахъ свинцоваго свинца, а про-  
дукты на дѣйствіе рѣшетки изъ алюминія, на борту,  
примѣняютъ рѣшотку свинцовую. Размѣнять свинецъ можно  
какъ тѣмъ способомъ, о которомъ мы уже упоминали, т-е. лу-  
чше всего применять свинецъ вторичный или же, что лучше,

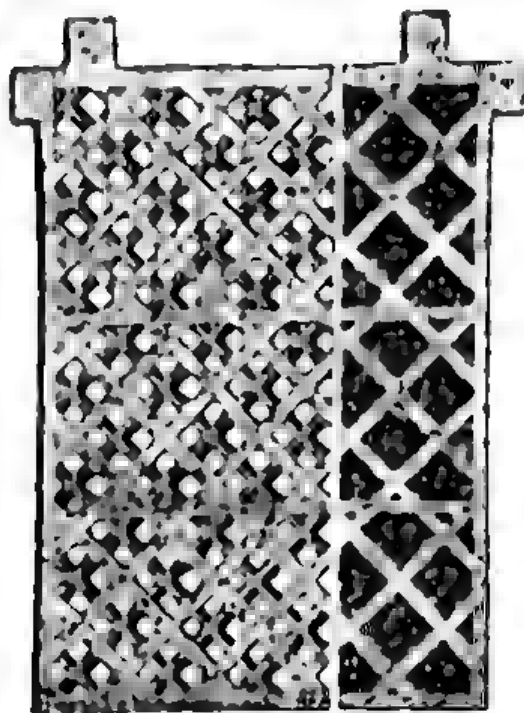


Рис. 80.

выдѣленіемъ свинца  
изъ раствора его соли,  
напр., свинцоваго са-  
хара, электролизомъ.  
Мы видимъ на осно-  
вании вышъ изложен-  
наго, что увеличеніе емко-  
сти аккумулятора свя-  
зано съ разрыхленіемъ  
составляющихъ его ма-  
теріаловъ, т-е. ведетъ  
за собой уменьшеніе  
его прочности. Это не  
позволяетъ вос-поль-  
зоваться аккумуля-  
торами для разныхъ  
цѣлей какъ перенос-  
ными, такъ и непо-  
движными (рис. 81).  
Зарядить аккумуля-  
торъ гораздо легче и

быстрее, чѣмъ старую батарею, съ другою спо-  
собомъ, применяя аккумуляторы удобнаго, чѣмъ для  
использованія въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ требуется расходовать  
малѣйшее количество электрической энергии. Въ физико-  
химическомъ институтѣ въ Ленинградѣ изыскали для  
этого въ дѣль аккумуляторы, которые и служатъ  
источникомъ электрической энергии въ теченіе доста-  
точно для,

Какъ бы ни былъ сложенъ процессъ, происходящій въ аккумуляторахъ, для насъ все-таки ясно, что здѣсь въ силу дѣйствія заряжающаго тока появляются новыя вещества, способныя дать разность потенциаловъ, возстановляемую на счетъ химической энергіи самихъ аккумуляторовъ во время ихъ дѣйствія; въ то же время, когда аккумуляторъ является источникомъ электрической энергіи, въ немъ происходятъ химическіе процессы, приводящіе его,

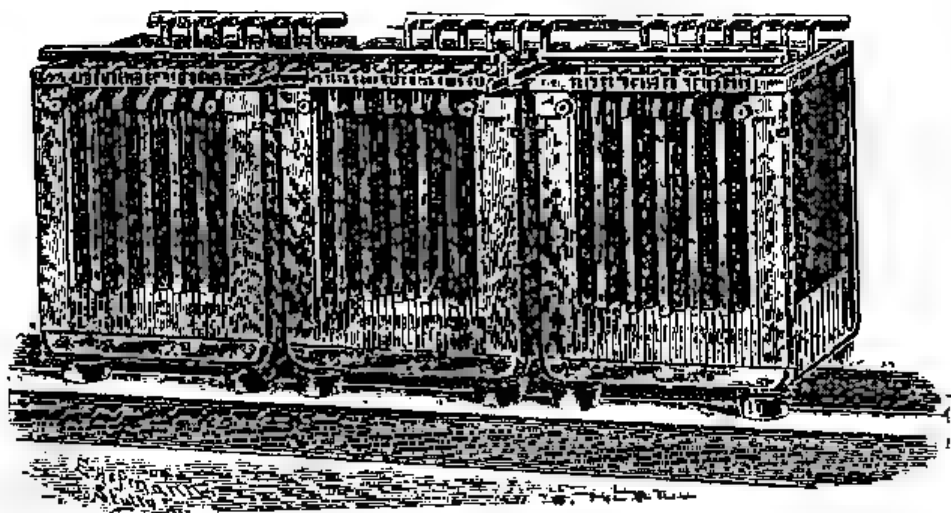


Рис. 81.

повидимому, въ то самое состояніе, въ которомъ онъ былъ до заряженія токомъ. Значить, здѣсь имѣтъ и тѣни подобія того накопленія электричества, котораго мы достигали при помощи Клейстовской (Лейденской) банки или листового конденсатора: здѣсь скорѣе можетъ быть рѣчь о накопленіи запаса потенциальной химической энергіи, которая переходитъ въ электрическую только при процессахъ внутри аккумулятора, когда мы замыкаемъ цѣпь.

Итакъ, мы видѣли, что при помощи гальваническихъ элементовъ можно получать большія количества электри-

чества, правда, при очень малыхъ разностяхъ потенціала <sup>1)</sup>; это даетъ намъ возможность пользоваться получаемой электрической энергіей для свѣтовыхъ, тепловыхъ и химическихъ дѣйствій. Наиболѣе интереснымъ является вопросъ о томъ, можно ли при помощи затраты механической работы получать большія количества электричества и обратно, можно ли, имѣя занасъ электрической энергіи, легко и просто переводить ее въ механическую работу? Мы уже видѣли, что при помощи электростатическихъ машинъ какъ будто бы легко рѣшается первый вопросъ; однако тамъ мы получаемъ очень мало кулоновъ при большомъ числѣ вольтъ; кромѣ того, у насъ при этомъ способѣ полученія электрической энергіи нѣтъ возможности легко получать электрический токъ, т.-е. какъ разъ то состояніе проводниковъ, которое наиболѣе пригодно для нашихъ цѣлей. Правильное рѣшеніе вопроса о полученіи электрическаго тока при помощи механической работы сразу дало бы намъ неисчерпаемое количество электрической энергіи изъ даровыхъ природныхъ источниковъ, какъ-то: рѣкъ, водопадовъ, вѣтра и т. д. Оказывается, что и здѣсь геній великихъ людей достигъ поставленной цѣли, и мы въ ближайшей главѣ постараемся показать, какимъ образомъ связь между магнитными и электрическими явленіями постепенно привели физиковъ къ возможности легкаго перехода отъ механической работы къ энергіи электрическаго тока.

---

<sup>1)</sup> Элементы рене (Поггендорфа), одинъ изъ сильнѣйшихъ, даетъ всего 2,01 вольтъ, тогда какъ машина Гольца съ кругомъ въ 50 сантиметровъ (съ конденсаторомъ) при разрядномъ разстояніи шариковъ въ 1 миллиметръ развиваетъ до 4800 вольтъ, т. е. столько, сколько дадутъ 2400 такихъ элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно.

## ГЛАВА VII.

## Магнетизмъ и электричество.

Весьма трудно сказать съ точностью, когда именно стали извѣстны свойства магнитовъ. Говорятъ, что за много вѣковъ до нашего времени греки замѣтили, что иѣкоторые черныя камни (магнитный желѣзнякъ) притягиваютъ къ себѣ желѣзо, и отъ названія города въ Малой Азіи, гдѣ будто бы впервые были найдены подобные камни, назвали ихъ магнитами. Есть основанія полагать, что китайцы еще раньше знали не только это свойство магнита, но и его способность поворачиваться всегда въ опредѣленномъ направленіи, если его подвѣсить на нити или помѣстить на остромъ шпилькѣ. Въ Европѣ открытіе этого свойства магнита, т.-е. его способности указывать однимъ концомъ на сѣверъ, а другимъ на югъ, приписываютъ Флавіо Джойо и относятъ его къ X или XII вѣку. Почти одновременно съ открытіемъ магнетизма стало извѣстно, что магнитный желѣзнякъ можетъ сообщить свои свойства желѣзу и стали, если ихъ натирать извѣстнымъ образомъ этимъ минераломъ; при этомъ оказалось, что желѣзо чрезвычайно быстро (тотчасъ послѣ натиранія) теряетъ свои магнитныя свойства, сталь же сохраняетъ ихъ весьма долгое время. Дальнѣйшее изученіе магнитныхъ явленій показало, что въ сущности всѣ тѣла подвергаются дѣйствію магнита, при чемъ одни притягиваются магнитами, какъ, напр., желѣзо, сталь, чугунъ, никкель, кобальтъ, другія же, наоборотъ, отталкиваются; къ ихъ числу относятся, напр., висмутъ. Эти же явленія обнаруживаются не только въ твердыхъ тѣлахъ, но въ жидкостяхъ, напримѣръ, въ растворахъ солей закиси и окиси желѣза, и даже въ газахъ, такъ, напр., кислородъ сильно притягивается магнитомъ, закись азота, этиленъ, газы пламени свѣчи — отталкиваются. Магнитныя свойства

зависеть не только отъ вещества тѣла, но еще отъ температуры и отъ внутренняго (молекулярнаго) строенія тѣлъ: крученіе, сгибаніе, а въ особенности сильное накаливаніе намагниченнаго ирута сильно ослабляетъ или даже совсѣмъ уничтожаетъ магнитныя его свойства. Ближайшее изученіе магнитныхъ свойствъ обнаруживаетъ цѣлый рядъ интересныхъ явленій. Подвѣсивъ на нити желѣзный гвоздь и поднося къ нему намагниченную стальную полоску съ разныхъ сторонъ, мы замѣтимъ, что середина полоски не оказываетъ никакого дѣйствія на гвоздь, а главное притягивающее дѣйствіе сосредоточивается вблизи концовъ. Если мы разломимъ такую стальную полоску на двѣ части (удобнѣе сдѣлать это съ намагниченной обыкновенной вязальной спицей), то каждая половинка будетъ снова притягивать гвоздь концами и не оказывать на него дѣйствія серединой. То же наблюдается и при повторномъ разламываніи спицы, такъ что мы, въ концѣ-концовъ, можемъ вмѣсто одного длиннаго магнита получить цѣлый рядъ мельчайшихъ магнитиковъ, и всѣ они будутъ обнаруживать способность притягивать желѣзо только по концамъ, а не въ срединѣ. Если магнитную полоску опустить однимъ концомъ въ мелкіе желѣзные гвозди, то они пристають къ ней въ видѣ густой бахромы или цѣни, при чемъ если удалить средніе гвозди, то нижележащіе сейчасъ же отпадутъ. Поэтому, погружая магниты въ очень мелкіе желѣзные опилки, мы будемъ получать нѣчто въ видѣ щетки (рис. 82)<sup>1)</sup>. Положимъ теперь, что у насъ есть двѣ магнитныхъ стрѣлки, свободно вращающіяся на острыхъ шпилькахъ. Поставимъ ихъ въ значительномъ разстояніи другъ отъ друга. Обѣ расположатся параллельно, при чемъ одинъ конецъ будетъ обращенъ къ сѣверу, другой — къ югу. Подведемъ сѣверный конецъ одной стрѣлки къ южному концу другой: обѣ

<sup>1)</sup> Верхній рисунокъ (82) изображаетъ естественныя магниты, т.-е. продолговатый кусокъ магнитнаго желѣзна, а нижній —искусственный

стрѣлки притянутся другъ къ другу и образуютъ какъ бы линію. Если мы попробуемъ теперь подвести сѣверный конецъ къ сѣверному, то это намъ никакъ не удастся: стрѣлки будутъ отходить одна отъ другой, а если мы настойчиво будемъ приближать одноименные концы другъ къ другу, то заставимъ стрѣлку вращаться вокругъ ипсенька; стрѣлка будетъ точно такъ же притягиваться однимъ концомъ всякаго магнита, и отталкиваться — другимъ, какъ изображено на иашемъ рисункѣ 82.

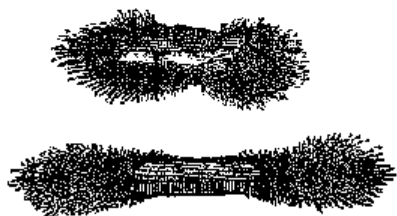


Рис. 82.

Такимъ образомъ мы убѣждаемся, что концы стрѣлки (будемъ ихъ называть *полюсами*) не одинаковы; это сказывается тѣмъ, что одноименные полюсы отталкиваются, а разноименные — притягиваются. Понятно, что съ возрастаніемъ величины магнитовъ, а также степени намагничиванія, дѣй-

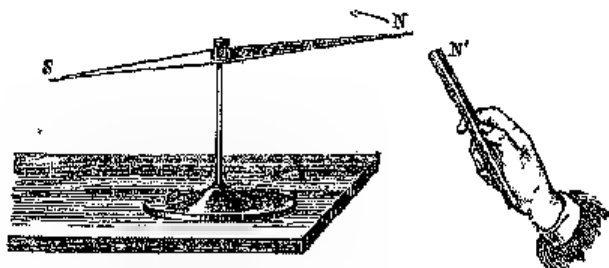


Рис. 83.

ствіе такого притяженія или отталкиванія можетъ дойти до очень большихъ размѣровъ. При этомъ мы можемъ легко убѣдиться, что въ случаѣ приближенія магнита къ стальной или желѣзной полоскѣ, эта послѣдняя тоже получаетъ магнетизмъ, при чемъ конецъ, обращенный къ сѣверному концу магнита, является южнымъ полюсомъ, а противоположный конецъ — сѣвернымъ. Значить, и здѣсь мы имѣемъ

такое же наведеніе или индукцію, какъ и въ наэлектризованныхъ проводникахъ. Это наведеніе и дастъ намъ возможность понять, почему желѣзо или сталь притягиваются магнитомъ <sup>1)</sup>. При приближеніи къ сѣверному полюсу магнита *висимой* палочки, конецъ, ближайшій къ сѣверному полюсу, оказывается сѣвернымъ полюсомъ, и два одноименныхъ полюса отталкиваются другъ отъ друга. Эти притяженія и отталкиванія очень удобно наблюдать, подвѣсивъ тонкія палочки концытеемымъ веществъ или трубочки съ жидкостями между полюсами сильнаго подковообразнаго магнита.

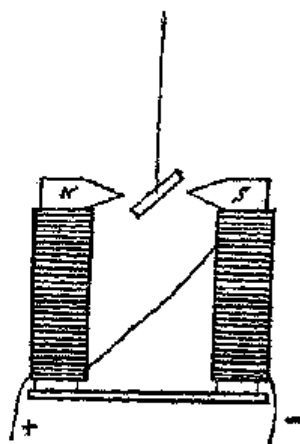


Рис. 84.

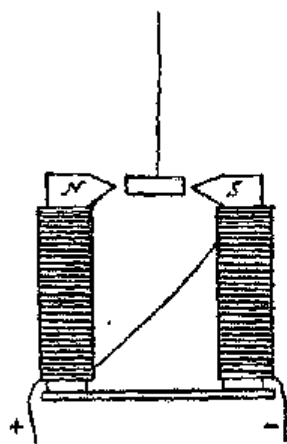


Рис. 85.

Понятно, что въ этомъ случаѣ дѣйствіе одного полюса усиливаетъ дѣйствіе другого. Если тѣло притягивается магнитомъ (*парамагнитныя* тѣла), то палочки или трубочки располагаются на линіи, соединяющей оба полюса (рис. 84); если же тѣло отталкивается (тѣла *діамагнитныя*), то палочка располагается, конечно, перпендикулярно къ этой линіи (рис. 85). Практически парамагнитны только желѣзо

<sup>1)</sup> Законы притяженія такіе же, какъ и въ наэлектризованныхъ тѣлахъ, а именно: сила притяженія прямо пропорціональна магнитнымъ массамъ полюсовъ и обратно пропорціональна квадратамъ ихъ разстояній, если полюсы разноименны. Въ случаѣ одноименныхъ полюсовъ наблюдается подчиненное тѣмъ же законамъ отталкиваніе.

(чугунъ, сталь), никкель, кобальтъ; въ висмутѣ еще можно обнаружить діамантитныя свойства; въ большинствѣ же тѣлъ магнитныя явленія настолько слабо выражаются, что не имѣютъ практическаго значенія. Наибольшее значеніе имѣютъ, конечно, магнитныя свойства желѣза, чугуна и стали. Такъ, на примѣръ, корабельный компасъ ничто иное, какъ стальная магнитная стрѣлка, свободно вращающаяся на остромъ шпенекѣ. Къ стрѣлкѣ прикрѣпляется картушка съ *розою ветровъ*, при чемъ ось магнита (линія, соединяющая оба полюса) проходитъ чрезъ линію сѣверъ—югъ; на картушкѣ обозначены уногребительныя румбы, т.-е. сѣверъ, югъ, востокъ, западъ, промежутки между ними, какъ, напр., сѣверо-востокъ или юго-западъ и т. д. Весь приборъ помѣщается въ мѣдной коробкѣ, подвѣшенной на двухъ подвѣсахъ такого устройства, что при всякомъ положеніи судна коробка сохраняетъ горизонтальное положеніе. На коробкѣ обозначено направленіе оси судна (отъ носа къ кормѣ). Предполагается, что положеніе картушки не мѣняется, и при поворотахъ судна сейчасъ же видно направленіе его пути. Мы говоримъ „предполагается“, потому что, на самомъ дѣлѣ, направленіе судна по компасу весьма трудно по многимъ причинамъ: 1) направленіе стрѣлки съ сѣвера на югъ не отвѣчаетъ меридіану, потому что и сѣверный и южный магнитные полюсы земли лежатъ на значительномъ разстояніи отъ географическихъ; 2) это несоотвѣтствіе различно въ разныхъ мѣстахъ, а въ одномъ мѣстѣ постоянно мѣняется періодически съ теченіемъ времени и кромѣ того по разнымъ часамъ дня и, наконецъ, 3) корпусъ большинства современныхъ судовъ устраивается изъ желѣза; если къ этому прибавить вліяніе желѣзныхъ и стальныхъ частей котловъ, машинъ и другихъ судовыхъ принадлежностей, то мы для каждаго судна получимъ свое особенное отклоненіе магнитной стрѣлки подъ вліяніемъ окружающихъ магнитныхъ массъ. Это послѣднее отклоненіе — девицію, обыкновенно опредѣляютъ опытнымъ путемъ. Понятное дѣло, что



существованія этихъ причинъ требуютъ постоянной проверки правильности хода судна при помощи цѣлаго ряда различныхъ инструментовъ, главнымъ образомъ астрономическихъ. Способность магнита при разламываніи давать снова магниты позволяетъ намъ представлять себѣ магнитныя тѣла, состоящими изъ безчисленнаго количества маленькихъ магнитовъ. Пока это тѣло не намагничено, элементарные магниты расположены такъ, что дѣйствіе ихъ не проявляется: желѣзо или сталь не притягиваютъ желѣза. Но стоитъ только подвергнуть такое нейтральное тѣло намагничиванію вліяніемъ или натираніемъ, какъ элементарные магниты расположатся параллельно, и наше тѣло обнаружитъ существованіе магнитныхъ полюсовъ. Юингъ показалъ это весьма нагляднымъ образомъ, располагая на одинаковыхъ разстояніяхъ другъ отъ друга цѣлый рядъ магнитныхъ стрѣлокъ на шпилькахъ. Стрѣлки располагались самыми разнообразными способами и не оказывали никакого вѣшняго дѣйствія. Можно было передвигать или качать одну изъ нихъ, тогда передвигались и качались остальные; если одну какую-нибудь стрѣлку удерживать въ новомъ положеніи, остальные тоже мѣняютъ свое положеніе, но не оказываютъ все-таки никакого дѣйствія на вѣсь лежащіе желѣзные предметы. Когда же стрѣлки подвергались дѣйствію магнита, то они стремились стать параллельно; это положеніе не удерживалось ими при слабыхъ магнитахъ но удаленіи магнитизирующаго тѣла, аналогично временному намагничиванію желѣза. Въ случаѣ же приближенія сильнаго магнита, стрѣлки, разъ установившись параллельно и образовавъ одинъ сложный магнитъ, уже не мѣняли этого положенія, аналогично остающемуся намагничиванію стали. Зависимость намагничиванія отъ положенія частицъ проявляется при нагрѣваніи, ударахъ, крученіи и т. д. намагниченаго тѣла, которое при этомъ часто совсѣмъ теряетъ свои магнитныя свойства. Такимъ образомъ, изученіе свойствъ магнитовъ, а въ особенности опыты Юинга даютъ намъ полную воз-

возможность установить известную зависимость между причинами, вызывающими магнитныя дѣйствія, и самымъ магнетизмомъ. Мы можемъ даже отыскать источникъ появленія магнитныхъ свойствъ, которымъ оказывается работа тренія или удаленія вліяющаго тѣла. Но количественной связи между этой работой и энергіей, проявляющейся при магнитныхъ явленіяхъ, мы не видимъ, такъ что для установленія этой связи приходится изучить цѣлый рядъ явленій, связывающихъ магнитныя и электрическія свойства. Основныя явленія этого типа стали известны въ 1820 году. 1820 годъ является однимъ изъ знаменательнѣйшихъ годовъ въ исто-

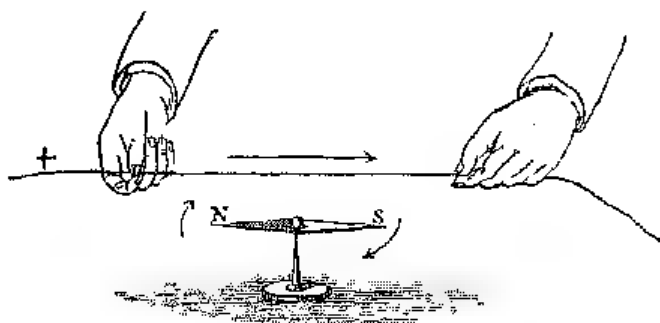


Рис. 86.

рин развитія физической науки; въ этомъ году были произведены и опубликованы опыты Эрстеда, Ампера и Араго, положившіе начало современному ученію объ *электромагнетизмѣ*. Явленіе, открытое Эрстедомъ, чрезвычайно просто: проводящая проволока, по которой проходитъ токъ, будучи приближена къ магнитной стрѣлкѣ, стоящей на иппенькѣ, отклоняетъ ее отъ положенія равновѣсія (рис. 86). Если мы представимъ себѣ человека, лежащаго на проволокѣ лицомъ къ стрѣлкѣ, при чемъ токъ идетъ отъ ногъ къ головѣ, то сѣверный конецъ стрѣлки отклонится отъ него *вправо*. Это *правило Ампера* даетъ возможность не только обнаруживать присутствіе слабыхъ токовъ, но и опредѣлять ихъ направленіе. Для этого достаточно помѣстить стрѣлку въ

рамку, по которой проходит проволока, служащая проводникомъ тока. Правило Ампера покажетъ намъ, что дѣйствіе тока, идущаго надъ стрѣлкой въ извѣстномъ

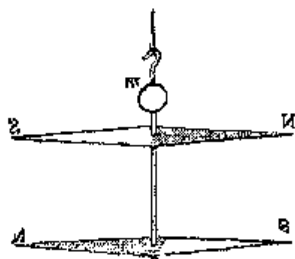


Рис. 87.

направленіи, усилятся отъ дѣйствія тока, идущаго подъ стрѣлкой; такъ какъ и положеніе и направленіе тока здѣсь противоположно верхнему, слѣдовательно, стрѣлка будетъ поворачиваться въ одну и ту же сторону. Еще чувствительнѣе дѣлается приборъ, если вмѣсто одной стрѣлки взять двѣ, по возможности одинаковыя по магнитнымъ мас-

самъ. Если двѣ такихъ стрѣлки скрѣпить неподвижно поперечнымъ брускомъ, поставивъ ихъ параллельно и обративъ одноименными полюсами въ разныя стороны, то направляющее магнитное дѣйствіе земли почти сведется къ нулю,

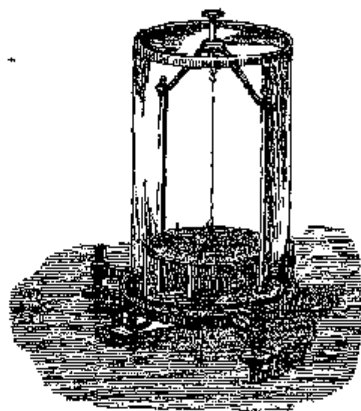


Рис. 88.

и стрѣлки будутъ необычайно легко, даже отъ дѣйствія весьма слабыхъ токовъ, выходить изъ положенія равновѣсія (рис. 87). Приложенный рисунокъ изображаетъ одинъ изъ такихъ гальванометровъ съ астатической (такъ называется парная стрѣлка) стрѣлкой (рис. 88). Амперъ замѣтилъ, что мѣдная проволока, изогнутая въ видѣ круга или четырехугольника, по которой идетъ токъ, обла-

даетъ способностью притягиваться или отталкиваться отъ другой такой же проволоки съ токомъ, смотря по взаимному положенію этихъ проводниковъ и направленію токовъ въ нихъ. Далѣе оказалось, что если подвѣсить проводникъ въ видѣ цилиндрической спирали (соле-

ноидъ), такимъ образомъ, чтобы онъ могъ свободно вращаться, то при пропускании тока онъ будетъ показы-

вать однимъ концомъ на сѣверъ, а другимъ — на югъ (рис. 89). Въ томъ же году Араго нашелъ, что мѣдная проволока, по

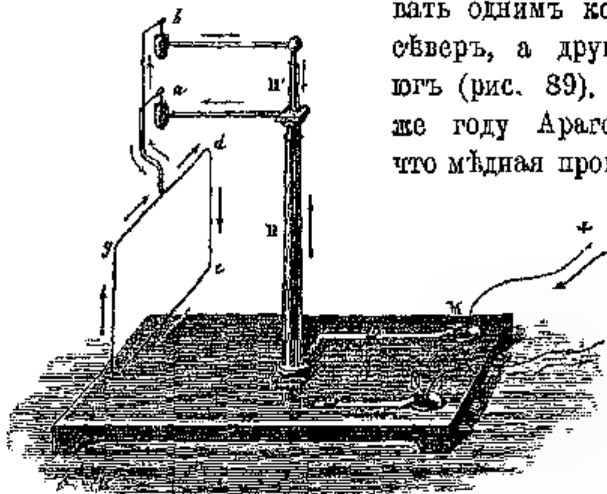


Рис. 89.

которой илеть токъ, притягиваетъ желѣзные опилки по всей своей длинѣ, какъ магнитъ, при чемъ оказалось, что опилки располагаются

вокругъ такой проволоки совершенно такъ, какъ вокругъ полюсовъ магнита. Видѣть это очень удобно, положивъ на магнитъ бумагу и посыпая ее мелкими желѣзными опилками. Опилки тогда располагаются въ полѣ дѣйствія магнита по силовымъ линіямъ т.-е. по направленію дѣй-

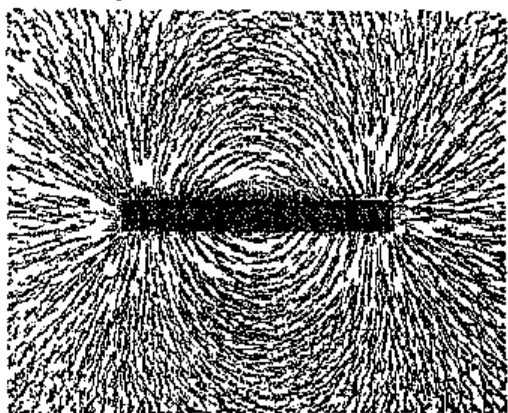


Рис. 90.

ствія магнитныхъ силъ. На рисункахъ показаны такіе магнитные спектры: на рисун. 90 надъ линейнымъ магни-

томъ, на рисун. 91 надъ двумя магнитами, сближенными то одноименными ( $N$  и  $N'$ ), то разноименными ( $N$  и  $S$ ) полюсами и на рисун. 92 вокругъ мѣдной проволоки, по которой идетъ токъ. Вскорѣ послѣ открытія Эрстеда Стердженъ нашелъ, что если взять полосу мягкаго желѣза, обмотать ее изолированной проволокой и пропустить по



Рис. 91.

этой проволоки токъ, то въ полюсѣ обнаруживаются необычайно сильныя магнитныя свойства. Если желѣзо очень чисто (хорошее мягкое желѣзо), то послѣ прекращенія дѣйствія тока, магнитныхъ свойствъ не обнаруживается и слѣда. Если же, наоборотъ, взять вмѣсто желѣза закаленную сталь, то послѣ прекращенія тока дѣйствія магнетизмъ полосы

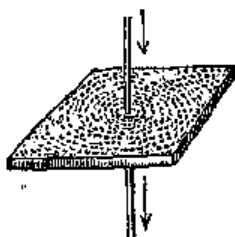


Рис. 92

не исчезаетъ, и у насъ получается сильный магнитъ. Напряженіе магнитной силы такой полосы (желѣзной или стальной) мѣняется въ зависимости отъ силы тока. Если мы сравнимъ предѣльное намагничиваніе для мягкаго желѣза и стали, то увидимъ, что въ первомъ случаѣ у насъ можно достигнуть

подъемной силы въ *одиннадцать* килограммовъ на 1 квадрат. сант. поверхности, а во второмъ—только *четыре* килограммовъ. Отсюда выходитъ, что электромагниты съ полосой или брускомъ изъ мягкаго желѣза могутъ быть слѣданы гораздо болѣе сильными, чѣмъ обыкновенныя стальные магниты. Какъ и стальнымъ магнитамъ, электромагнитамъ придаютъ обыкновенно форму подковы (рис. 93), такъ что оба полюса

одновременно дѣйствуютъ на якорь, держащій грузъ. Сопоставляя все приведенные факты, мы приходимъ къ заключенію, что между магнитными и электрическими явленіями существуетъ весьма тѣсная связь. Для насъ очень важно отмѣтить то обстоятельство, что на самый процессъ намагничиванія тратится опредѣленная работа, при чемъ нагревается обматывающая желѣзную полосу обмотка; если мы не заставляемъ электромагнитъ работать, т.-е. притягивать къ себѣ грузы, то на поддержаніе его магнитнаго состоянія не потребуется новой затраты работы, какъ не требуется затрачивать работу на задерживаніе свернутой пружины. Если же электромагнитъ работаетъ, то работа эта потребуетъ новаго нагреванія обмотки (въ силу явленій, о которыхъ мы будемъ говорить ниже), такъ что намъ приходится затрачивать новыя и новыя количества энергіи въ томъ или другомъ видѣ. Количество выдѣленнаго тепла, совершенную работу и работу тока мы можемъ опредѣлить, и въ результатѣ находимъ новое подтвержденіе общаго закона сохраненія энергіи, въ какомъ бы видѣ она ни проявлялась.

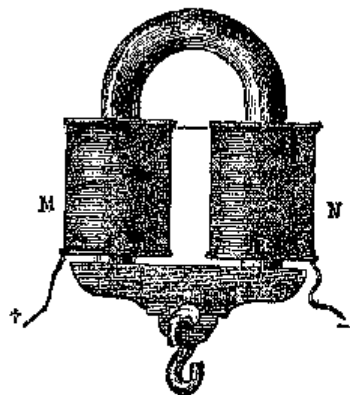


Рис. 93.

Практическое примѣненіе электромагнитовъ очень обильно, въ особенности, для сигнализациі всякаго рода. Въ лабораторіяхъ часто требуется работать при постоянной температурѣ, при чемъ пространство, въ которомъ находятся приборы, нагревается газомъ. Если мы помѣстимъ каучуковую трубку *K*, приводящую газъ, между электромагнитомъ и его якоремъ, то въ моментъ дѣйствія магнита трубка будетъ сжиматься, и теченіе газа или прекратится совсемъ, или значительно уменьшится. Проволока (рис. 94) отъ элемента *L*, питающаго токомъ электромагнитъ, идетъ въ ре-

зернуаръ ртутнаго сосуда *B*, другая же ея часть соединена съ платиновымъ остриемъ, укрепленнымъ неподвижно въ верхней части сосуда. Когда установится надлежащая температура въ нагреваемомъ сосудѣ, мы заворачиваемъ винтъ *A* до тѣхъ поръ, пока ртуть въ узкой части сосуда *B* не коснется острия. Тогда для тока устанавливается непрерывный путь, и проходящій токъ возбуждаетъ электромаг-

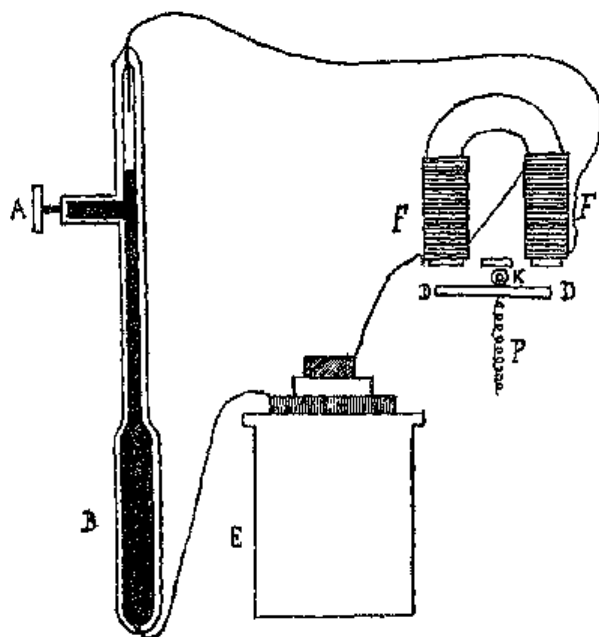


Рис. 94.

нитъ *F*, который сейчасъ же притянетъ якорь *D* и сожметъ такимъ образомъ газовую трубку *K*. Въмѣсто большого пламени останется чуть замѣтный огонекъ. Положимъ, что температура сосуда понизилась, тогда объемъ ртути въ сосудѣ *B* сократится, и она отойдетъ отъ острия. Токъ прекратится, а пружина *P*, оторвавъ якорь, снова дастъ полную свободу газу. Такимъ образомъ легко регулировать температуру, при чемъ это регулированіе совершается само собой.

Устройство электрическаго звонка хорошо извѣстно почти всѣмъ: когда мы нажимаемъ кнопку *В*<sup>1)</sup> (рис. 95), то замыкается токъ отъ элемента *Р*, и возбужденный электромагнитъ *Е* сейчасъ же притягиваетъ якорь *С* съ молоточкомъ *Н*; молоточекъ ударяетъ по колокольчику, но въ это время, вслѣдствіе перерыва соединенія между пружиной *А* и молоточкомъ, токъ прерывается, и освобожденный якорь снова касается пружинки, опять замыкая токъ. Такимъ образомъ нашъ колокольчикъ все время звонить, да-

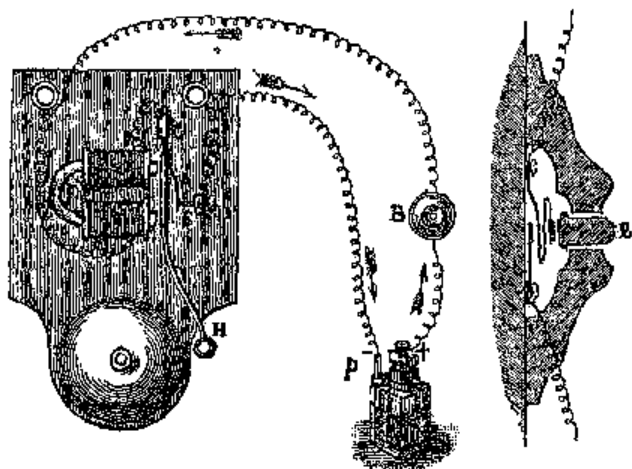


Рис. 95.

вая до 1000 ударовъ въ секунду, пока нажата кнопка *В*. Если мы разрѣзанные концы проволоки (въ томъ мѣстѣ, гдѣ кнопка) введемъ въ сосудъ со ртутью въ родѣ описаннаго только что (рис. 94), то мы можемъ получить прекрасный сигнальный аппаратъ, предупреждающій о подъемѣ температуры до извѣстной высоты; понятно, что это можетъ быть использовано для извѣщенія о начавшемся пожарѣ въ закрытомъ помѣщеніи, о достаточномъ подъемѣ температуры въ какой-нибудь фабричной сушилкѣ или въ закрытомъ котлѣ, гдѣ производится какая-нибудь химическая опера-

<sup>1)</sup> Рисунокъ справа показываетъ ея устройство.



ція. Пользуясь способностью газовъ, болѣе легкихъ, чѣмъ воздухъ, быстрѣе проходить чрезъ пористую перегородку, Анзель устроилъ сигнальный аппаратъ, предупреждающій

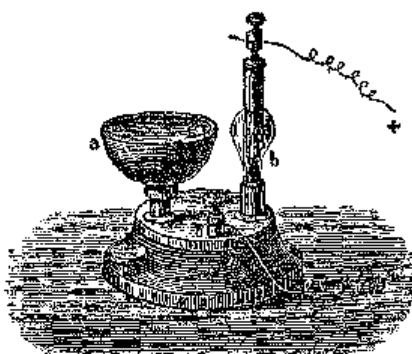


Рис. 96

о значительномъ скопленіи рудничнаго газа (метана) въ каменноугольныхъ кояхъ. На рис. 96 изображенъ этотъ приборъ: U-образная труб-ка оканчивается широкой воронкой (а), закрытой пористой пластинкой изъ слабо обожженной глины; въ другой конецъ введена проволока (b), доходящая почти до уровня налитой въ

трубку ртути. Въ ртуть введена другая проволока с. Проволоки ведутъ къ элементу и звонку (Рис. 97). Если въ рудникѣ есть метанъ, то онъ, какъ болѣе легкій газъ, быстро проникаетъ чрезъ пористую пластинку, давить на ртуть, подво-

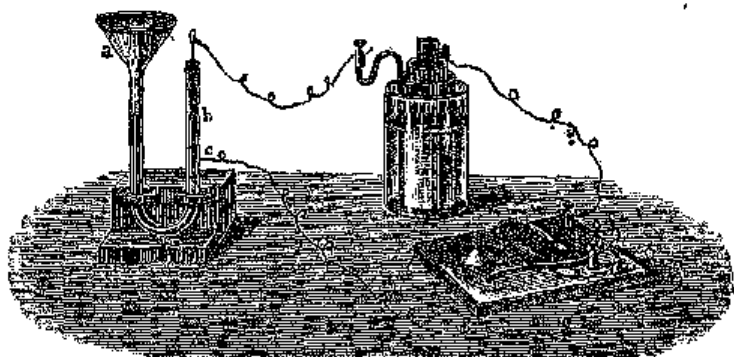


Рис. 97.

дитъ ее къ проводкѣ b и замыкаетъ токъ. Звонокъ сейчасъ же даетъ сигналъ, предупреждающій объ опасности. Точно такимъ же образомъ можно примѣнить электрическій звонокъ для автоматическаго извѣщенія о проходѣ поѣзда чрезъ

известное мѣсто: стоитъ только надлежащимъ образомъ устроить „кнопку“ подъ рельсами, и тяжесть поѣзда, нажимаемая на кнопку, дастъ требуемый сигналъ. Аппараты для проверки часовъ, для автоматическаго записыванія разныхъ фактовъ или явленій, предохранители отъ кражъ и валама— словомъ цѣлый рядъ разнообразнѣйшихъ приборовъ — построены на основаніи свойства желѣза дѣлаться магнитомъ при прохожденіи тока и терять магнитныя свойства одновременно съ прекращеніемъ тока. Но наибольшее значеніе въ исторіи культурнаго человѣчества имѣетъ, конечно, электрическій телеграфъ, какъ средство почти мгновеннаго сообщенія между отдаленнѣйшими частями земного шара. Телеграфы, то-есть приборы, позволяющіе передавать слова на разстояніи, были въ большомъ ходу въ самомъ началѣ прошлаго XIX вѣка, но они были основаны на передачѣ отъ пункта къ пункту условныхъ свѣтовыхъ или вообще оптическихъ (напримѣръ, при помощи различныхъ поворотовъ окрашеннаго креста) сигналовъ.

Первый электромагнитный телеграфъ былъ устроенъ нашимъ соотечественникомъ бар. Шиллингомъ. Въ настоящее время больше всего въ ходу система телеграфной передачи Морза и рѣже печатающіе телеграфы Юза. Дѣйствіе аппарата Морза (рис. 98) основано на томъ, что при прохожденіи тока, вызываемаго замыканіемъ особаго ключа на стациіи отправленія, возбуждается электромагнитъ на стациіи полученія, который притягиваетъ якорь. Якорь прикрѣпленъ къ вращающемуся рычажку, къ другому концу котораго прилаженъ аппаратъ для письма (карандашъ, твердый штифтикъ, прижимающій бумажную ленту къ валику, покрытому типографскою краской, и т. д.) Короткое замыканіе ключа даетъ точку, болѣе продолжительное—черточку. Сочетанія черточекъ и точекъ составляютъ буквы, при чемъ тѣмъ чаще употребляется буква, тѣмъ проще ея обозначеніе. Впрочемъ, больше четырехъ точекъ или черточекъ не бываетъ. Возбудителемъ служитъ батарея изъ большаго числа

нестоимыхъ элементовъ (Даніэля, рѣже Ленланше), проводки — желѣзная проволока, покрытая для предохраненія отъ ржавленія цинкомъ. Одну полюсъ батареи соединить съ линіей, а другой — опустить въ землю, такъ что проводящая земли замѣняетъ вторую проволоку. Желѣзная проволока въ воздушныхъ линіяхъ изолируется отъ земли особыми фарфоровыми стаканчиками. Регулируетъ извест-

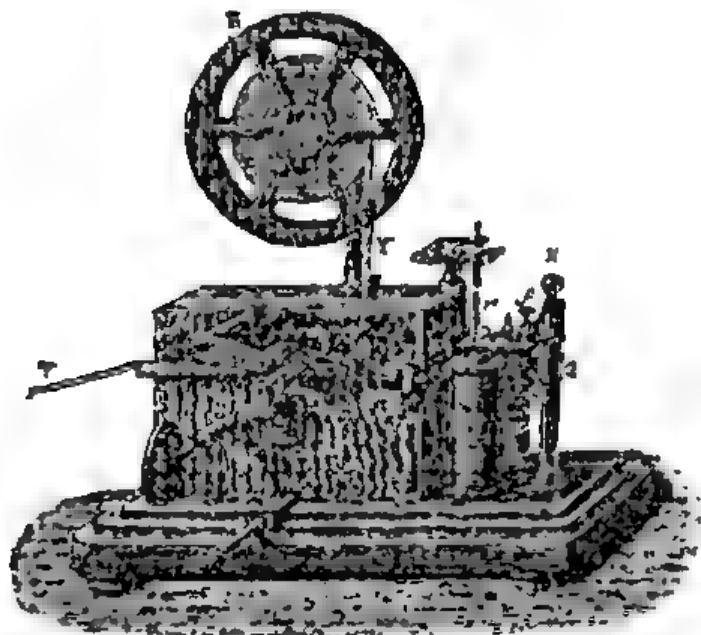


Рис. 88.

нымъ образомъ согрѣшенія проволоки и вводя нѣкотора боковыя ея отѣвленія на станціяхъ какъ приѣма, такъ и отправления, достигаютъ того, что можно телеграфировать одновременно по одной проволоки изъ двухъ станцій въ противоположныхъ концахъ проволоки.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда приходится сообщаться телеграфными сигналами между двумя мѣстностями, раздѣленными воднымъ пространствомъ, приходится устраивать изо-

лирующую оболочку для проводовъ. Такіе подводныя проводники или кабели состоятъ изъ нѣсколькихъ скрученныхъ мѣдныхъ проволокъ, помѣщенныхъ въ толстый слой гуттаперчи; эта средняя часть обматывается слоемъ пеньки или джутовыхъ канатовъ, очень хорошо просмоленныхъ, и въ заключеніе броней изъ желѣзныхъ проволокъ, тоже покрытыхъ пеньковой или джутовой обмоткой (рис. 99). Въ настоящее время выработаны прекрасныя приемы для проложенія такихъ кабелей по морскому дну, и рѣдкій годъ проходитъ безъ того, чтобы два какихъ-нибудь пункта не были бы вновь соединены подводной проволокой. Когда же прокладывался первый значительный кабель чрезъ весь Атлантическій океанъ отъ береговъ Англіи къ берегамъ Америки, то, несмотря на благо, пріятныя условія (кабель лежитъ на чрезвычайно удобной подводной воз-

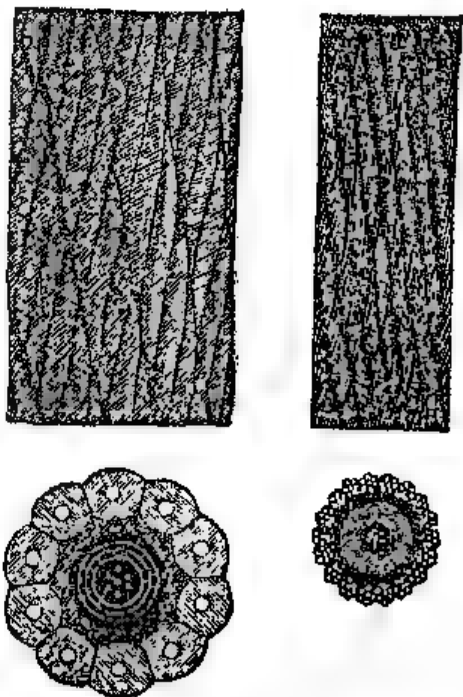


Рис. 99

вышенности, такъ называемомъ телеграфномъ плато, пришлось затратить столько средствъ и претерпѣть такую массу неудачъ, что окончаніе этого предпріятія 27 іюля 1866 года при помощи парохода-гиганта Great Eastern по справедливости считалось однимъ изъ чудесъ нашего времени.

Изъ описанія устройства кабеля видно, что онъ въ сущности представляетъ не только проводникъ, но еще и конденсаторъ огромной емкости. Поэтому имѣть ничего удиви-

тольконаго въ томъ, что на приемныхъ станціяхъ, несмотря на громадное количество элементовъ въ батареяхъ — возбуждателяхъ электромагнитовъ на станціяхъ отправленія, приходится прибѣгать къ очень чувствительнымъ гальванометрамъ съ зеркальцами, при чемъ различные сигналы отличаются по движенію „зайчика“ отъ этого зеркальца. Кроме того, часто употребляютъ для записыванія сигналовъ *сифонный отпихчикъ В. Томсона*, въ которомъ, благодаря остроумному сочетанію сильнаго электромагнита, якоря и стекляннаго сифона, выбрасываются чернила

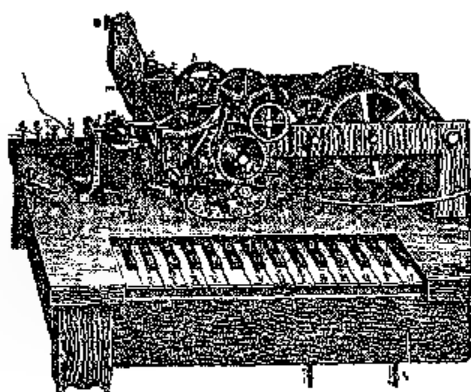


Рис. 100.

въ слѣдствіе электрическаго отталкиванія, и буквы быстро и удобно отмѣчаются условными знаками (различнаго рода зигзагами). Въ аппаратѣ Юза (рис. 100) рельефныя буквы, покрытыя типографскими чернилами, находятся на окружности колеса; колесо это равномерно

вращается; для напечатанія извѣстныхъ буквъ нужно только привести въ дѣйствіе электромагнитъ, прижимающій бумагу къ буквамъ, какъ разъ въ тотъ моментъ, когда требуемыя буквы проходятъ мимо электромагнита. Достигается это на станціи отправленія при помощи особеннаго столика съ отверстіями, отвѣчающими буквамъ. Отверстія расположены по окружности, надъ которой вращается ось съ выступомъ. Изъ отверстій при нажиманіи клавишъ выдвигаются стержни, которые, соприкасаясь съ выступомъ, замыкаютъ въ требуемое время токъ. Надо, понятно, наладить (это дѣлается очень просто) оба аппарата такъ, чтобы скорости вращенія и интервалы времени между буквами совпадали. Удобство аппарата заклю-

чается въ томъ, что 1) депеша является сразу напечатанной и 2) такъ какъ на каждую букву приходится только одинъ ударъ по клавишѣ для замыканія тока, то скорость телеграфированія гораздо больше, чѣмъ въ аппаратѣ Морза. Мы увидимъ впоследствии, что скорость распространенія электричества равна скорости свѣта, т.-е. 300000 километровъ въ секунду, для которой, если такъ можно выразиться, нѣтъ на землѣ разстояній: свѣтъ можетъ обойти земной шаръ по экватору только въ  $\frac{1}{10}$  секунды. Но если мы примемъ во вниманіе громадную длину, а главное, значительную *емкость* такихъ подводныхъ кабелей, какъ, напримеръ, кабель между Ирландіей и Нью-Фаундлендомъ, то для насъ не будетъ удивительно, что только по истеченіи *трехъ (3) секундъ* со времени замыканія тока, токъ на станціи приѣма достигаетъ своей окончательной силы.

Всѣ эти аппараты — тепловые регуляторы, телеграфы, передающіе на многіе тысячи верстъ условные знаки, буквы и даже рисунки (есть и такіе аппараты), — внесли, конечно, очень много удобствъ въ нашу жизнь и вызываютъ невольное удивленіе, но все это какъ бы ступенчается при знакомствѣ съ машинами и приборами, основанными на обратныхъ явленіяхъ, а именно на возбужденіи токовъ дѣйствіемъ магнитовъ. Не даромъ профессоръ Кембриджскаго университета Кларкъ Максуэлль сказалъ, что самымъ замѣчательнымъ открытіемъ за послѣдніе годы (въ 60 годахъ) онъ считаетъ открытіе того факта, что машина Грамма (наиболѣе извѣстная въ то время динамоэлектрическая машина) можетъ превращать электрическую энергію въ механическую работу и обратно механическую работу — въ электрическую энергію.

Въ основаніи всѣхъ этихъ поистинѣ изумительныхъ превращеній лежатъ основныя опыты М. Фарадея, начатыя имъ въ 1831 году. Здѣсь мы воочию видимъ, къ какимъ блестящимъ практическимъ приложеніямъ могутъ повести открытія ученаго, сдѣланныя съ чисто научной цѣлью.

Первоначальное открытіе Фарадея сводится къ тому, что если мы въ какомъ-нибудь замкнутомъ проводникѣ *временно* вызовемъ токъ или измѣнимъ его силу, то въ другомъ проводникѣ, лежащемъ вблизи перваго и тоже замкнутомъ, появится токъ, продолжающійся только въ моментъ появленія, исчезанія или измѣненія силы тока въ первомъ проводникѣ. Эти токи получили названіе *индуктивныхъ* (наведенныхъ) токовъ; *наводящій* токъ — называютъ *первичнымъ*,

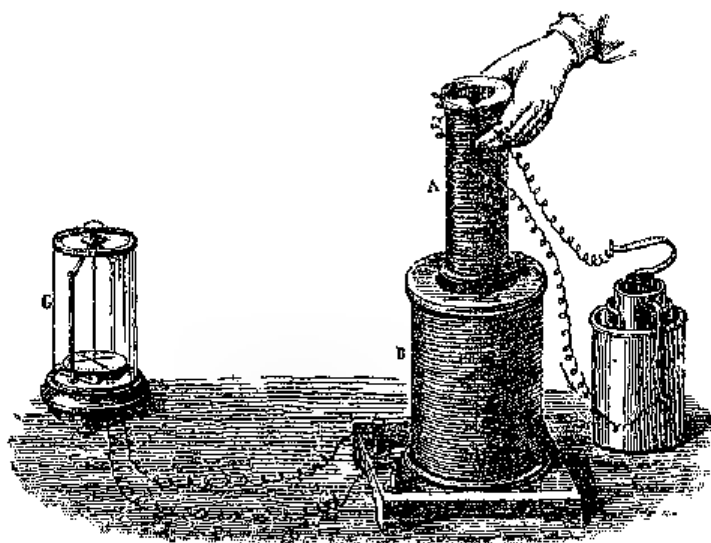


Рис. 101.

а *наводимый* — *вторичнымъ*. Если взять (рис. 101) катушку, на которую намотана тонкая изолированная проволока, соединенная концами съ гальванометромъ, а рядомъ другая, которую можно соединить съ элементомъ, то при *замыканіи* и *прерываніи* тока, *приближеніи* и *удаленіи* первичной катушки замѣчается отклоненіе стрѣлки гальванометра, причемъ при удаленіи или прерываніи тока мы замѣчаемъ отклоненіе въ сторону, противоположную той, которая наблюдалась при приближеніи или замыканіи тока. Отсюда прямой переходъ къ *магнито-электрической индукціи* Фа-

*радея*: вѣдь желѣзная полоса, если ее помѣстить внутрь катушки съ проводникомъ, по которому идетъ токъ, дѣлается магнитной; значить, поднося и удаляя магнитъ, мы можемъ ожидать обнаруженія во вторичной катушкѣ тѣхъ же явленій, какія вызываются приближеніемъ или удаленіемъ первичной катушки.

Нашъ рисунокъ (рис. 102) показываетъ расположеніе этого замѣчательнаго опыта Фарадея, который онъ самъ описываетъ въ слѣдующихъ словахъ: „Цилиндрическій магнитъ,

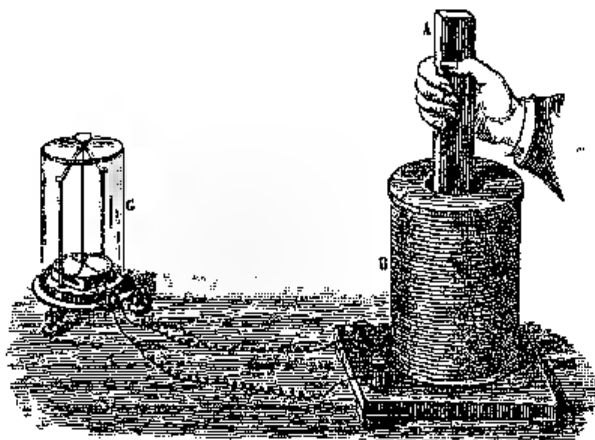


Рис. 102.

имѣвшій три четверти дюйма въ діаметрѣ и восемь съ половиною дюймовъ длиною, былъ вставленъ однимъ концомъ въ отверстіе деревяннаго цилиндра, обмотаннаго проволокой въ 220 футовъ длиною. Сначала въ отверстіе катушки былъ вставленъ только самый край конца магнита; потомъ быстрымъ движеніемъ магнитъ былъ вдвинутъ въ катушку цѣликомъ; стрѣлка гальванометра быстро передвинулась; затѣмъ магнитъ опять-таки быстрымъ движеніемъ былъ вынутъ изъ катушки, стрѣлка при этомъ передвинулась, но уже въ обратномъ направленіи. Это явленіе неизмѣнно повторялось всякій разъ при опусканіи магнита въ ка-



тушку и при удаленіи изъ нея; слѣдовательно, электрическій токъ производился только измѣненіемъ положенія магнита, а не самымъ его расположеніемъ около катушки“.

Во всѣхъ этихъ опытахъ, и съ магнитомъ и съ первичными катушками, отклоненіе стрѣлки указываетъ на появленіе въ проводокѣ вторичной катушки тока; при этомъ отклоненіе стрѣлки въ *противоположныя* стороны при опусканіи магнита въ спираль (замыканіи тока) и удаленіи его (прерываніи тока) указываетъ на то, что наведенный токъ въ этихъ двухъ случаяхъ идетъ въ противоположныхъ направленіяхъ. Р. Ленцъ вскорѣ послѣ открытія явленій индукціи Фарадеемъ показалъ, что наведенный передвиженіемъ магнита или первичной катушки токъ идетъ всегда въ такомъ направленіи, что его магнитное дѣйствіе стремится препятствовать движенію магнита или первичной катушки: напримѣръ, если мы удаляемъ магнитъ изъ катушки, то наведенный токъ идетъ въ такомъ направленіи, что магнитъ стремится притянуться внутрь катушки. Исходя изъ этого закона, мы легко можемъ понять причину появленія новыхъ электрическихъ свойствъ въ проводокѣ вторичной катушки, такъ какъ для удаленія и приближенія магнита или первичной катушки приходится, значить, затрачивать известную работу. Гельмгольцъ и В. Томсонъ даже вывели законъ Ленца и другіе законы индукціи, исходя непосредственно изъ закона сохраненія энергіи.

Этимъ свойствомъ магнитовъ можно воспользоваться для полученія тока путемъ затраты механической работы. Простейшій примѣръ такой машины представить намъ *дискъ Фарадея* (рис. 103); металлическій дискъ вращается равномерно на металлической же оси между полюсами магнита; къ оси и краю диска приложены пружины *A* и *B*, соединенныя проводникомъ съ гальванометромъ, не показаннымъ на чертежѣ.

При равномерномъ вращеніи диска въ проводникѣ появляется токъ, идущій въ указанномъ стрѣлками направленіи.

При этомъ можно указать еще на одно очень характерное явление: если приладить мѣдный дискъ между полюсами электромагнита, то, при отсутствіи въ обмоткѣ электромагнита тока, мы свободно вращаемъ дискъ. Стоитъ только замѣнить токъ, и сейчасъ же вращеніе диска настолько затрудняется, что намъ кажется, какъ будто бы этотъ мѣдный дискъ вращается въ какой либо вязкой жидкости. Если, несмотря на это, вращать все-таки дискъ, то онъ сильно разогревается <sup>1)</sup>. Если мы произведемъ опытъ съ дискомъ Фарадея (рис. 103) въ обратномъ видѣ, т.-е. оставивъ дискъ

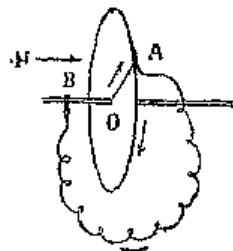


Рис. 103.

между полюсами магнита, пустимъ по проводящей проволоцѣ токъ изъ элемента въ томъ же направленіи, какъ въ первомъ опытѣ, то дискъ начнетъ вращаться въ сторону противоположную; слѣдовательно, на этомъ несложномъ приборѣ можно видѣть, ка-

кимъ образомъ участвуетъ токъ въ результатѣ затраты механической работы и какимъ образомъ, имѣя токъ, можно получить механическую работу. Заменяя вращающійся дискъ катушками съ намотанной проволокой, а обыкновенные стальные магниты — электромагнитами изъ мягкаго желѣза,

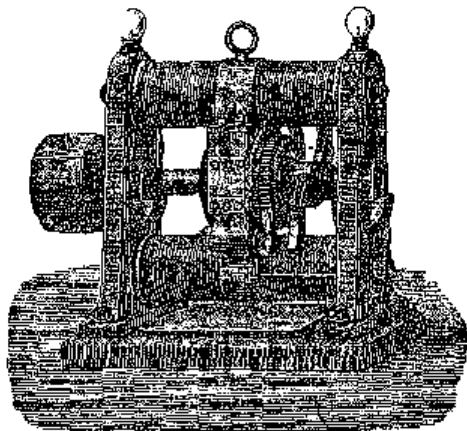


Рис. 104.

которые, какъ мы видѣли уже, несравненно сильнѣе, мы получаемъ цѣлый рядъ *динамомашии* различныхъ системъ; въ машинѣ Грамма (рис. 104) проволока намотана въ видѣ от-

<sup>1)</sup> Что и здѣсь мы имѣемъ дѣло съ токами, видно изъ того, что дискъ тѣмъ труднѣе вращать, чѣмъ больше его электропроводность. Если сдѣ-

дѣльныхъ петель или секцій на кольцо изъ мягкаго желѣза, которое помѣщено между полюсами магнита (или электромагнита); мѣсто закрѣпленія конца проволоки одной секціи на оси служить въ то же время закрѣпленіемъ начала проволоки слѣдующей секціи и т. д. Въ машинѣ Сименса (рис. 105) вращающееся кольцо (такъ называемый якорь) замѣнено цилиндромъ или барабаномъ изъ мягкаго желѣза, покрытымъ съ наружной стороны секціями, изъ которыхъ каждая представляетъ пѣтлю въ родѣ четырехугольной рамы, идущей параллельно оси цилиндра. Въ нѣкоторыхъ ма-

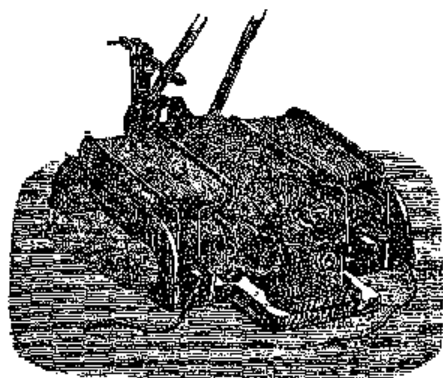


Рис. 105

шинахъ наводящій магнитъ (индукторъ) устраивается изъ нѣсколькихъ магнитовъ, обращенныхъ другъ къ другу одноименными полюсами; устраиваютъ машины даже съ 8 полюсами, что въ значительной степени усиливаетъ ихъ дѣйствіе. Чѣмъ быстрее вращеніе якоря, тѣмъ большая

разность потенциаловъ достигается при той же длинѣ обматывающей проволоки. Поэтому понятно, что машины со многими полюсами позволяютъ не такъ быстро вращать якорь и въ то же время получать ту же электродвижущую силу: секція тѣмъ чаще проходитъ мимо магнита, чѣмъ больше полюсовъ. Мы не вдаемся въ подробное описаніе этихъ машинъ и, если приводимъ нѣчто въ родѣ описанія якорей Грамма и Сименса, то только для того, чтобы хоть немного намекнуть на различіе системъ динамомашинъ. Въ они даютъ прямой токъ, и легко могутъ служить источни-

вать его непроводящимъ, раскинувъ его отъ окружности къ центру по радіусамъ во многихъ мѣстахъ, то явленіе совсѣмъ не наблюдается.

комъ электрическаго тока, разъ есть запасъ механической энергіи. Поэтому неудивительно, что страны съ большимъ количествомъ быстро текущихъ горныхъ рѣкъ и рѣчекъ, какъ, напримѣръ, Швейцарія и Швеція, стали издавна пользоваться такими даровыми источниками тока. Точно такъ же и водопады, начиная отъ такихъ небольшихъ, какъ Нарвскій, и кончая такими гигантами, какъ Ніагарскій, тоже употребляютъся въ качествѣ движущей силы для приведенія въ движеніе динамомашиинъ. Замѣтимъ, что машина Грамма и Сименса и многія другія, подобныя имъ, обратимы, т.-е. при пропусканіи въ отводящіе провода тока надлежащей силы, якоря этихъ машинъ начинаютъ вращаться. Поэтому можно построить цѣлый рядъ болѣе простыхъ двигателей, пользуясь сочетаніемъ магнитовъ и катушекъ, способныхъ вращаться на оси. На рисункахъ 106 и 107 изображены два такихъ двигателя. Однако же на основаніи цѣлаго ряда причинъ является болѣе удобнымъ пользоваться магни-

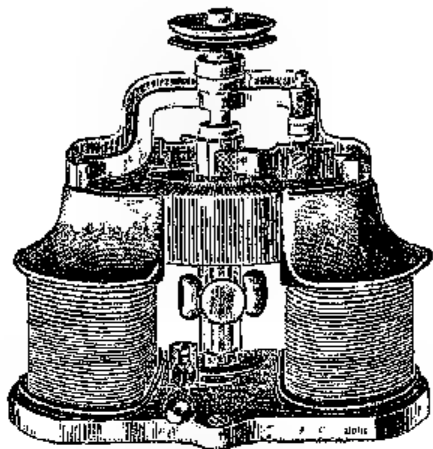


Рис. 106.

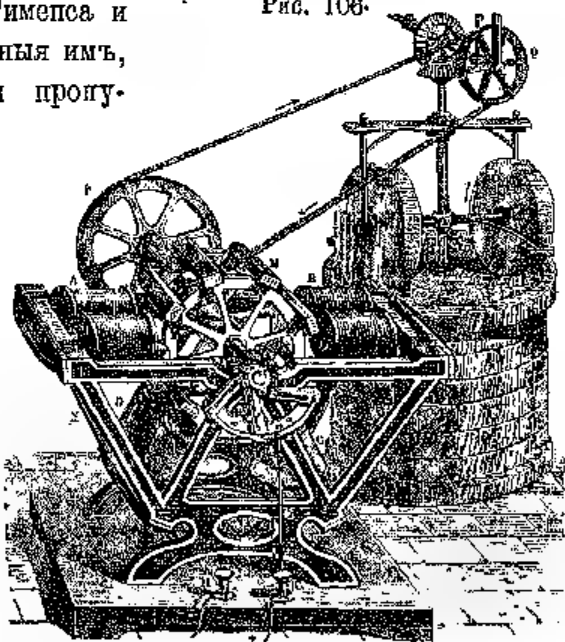


Рис. 107.

жоны два такихъ двигателя. Однако же на основаніи цѣлаго ряда причинъ является болѣе удобнымъ пользоваться магни-

тами съ *переменнымъ токомъ* (альтернаторами). Не описывая ихъ въ отдѣльности, укажемъ только, что простѣйшей изъ нихъ является кольцо, обмотанное проволокой, концы которой закрѣплены у двухъ изолированныхъ частей оси. Къ этимъ частямъ прикасаются двѣ пружины. Все кольцо вращается между полюсами магнита вокругъ вертикальной оси (рис. 108). Вслѣдствіе измѣненія положенія замкнутаго проводника относительно магнита, въ рамѣ возбуждается токъ, постоянно мѣняющійся по силѣ и направленію. Въ однихъ машинахъ

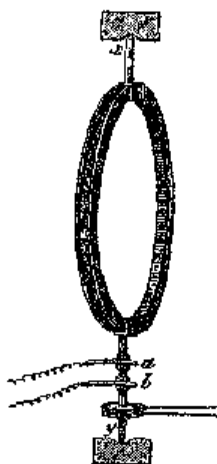


Рис. 108

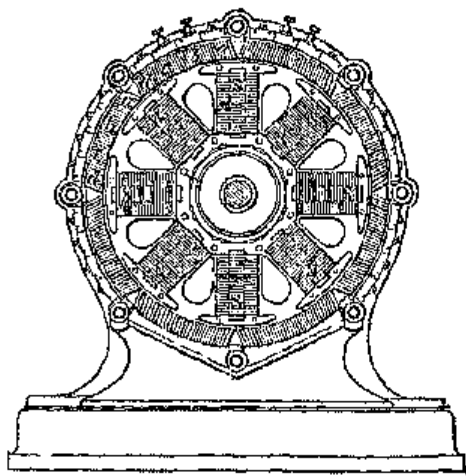


Рис. 109.

этого типа движется, какъ и въ приведенной элементарной машинѣ, наводимая (вторичная) катушка, напримѣръ, въ машинѣ Грамма, въ другихъ, какъ, напримѣръ, въ машинѣ Сименса вращается индукторъ изъ восьми электромагнитовъ съ чередующимися полюсами (рис. 109). Всѣ подобныя машины тоже могутъ служить и двигателями, разъ только мы пускаемъ въ нихъ соотвѣтственный альтернативный токъ. Такіе двигатели очень распространены, и ими пользуются для приведенія въ дѣйствіе различныхъ механическихъ станковъ, какъ-то: ткацкихъ, токарныхъ и т. п., а также трамваевъ, подъемниковъ и пр. Весьма важной осо-

безопасностью альтернативных машин является их способность давать токи очень больших напряжений, т.-е. съ очень большой электродвижущей силой. Это дѣлаетъ, конечно, ихъ весьма опасными, но зато даетъ возможность легко и дешево передавать *работу на разстоянии*, что и представляетъ драгоценнѣйшее свойство такихъ динамомашинъ. Приведемъ въ видѣ примѣра расчетъ, заимствованный у Ж. Жубера: положимъ, надо передать 50000 ваттовъ (см. стр. 129) рабочей силы на разстояніе одного километра, причемъ допускается максимальная потеря въ 10<sup>0</sup>/. Положимъ теперь, что у насъ есть двѣ машины: одна даетъ 500 амперовъ при 100 вольтахъ, а другая—50 амперовъ при 1000 вольтахъ. Количество ваттовъ, понятно, одинаково и въ томъ и другомъ случаѣ. Въ первомъ случаѣ пришлось бы взять проводникъ въ 2000 метровъ длины, причемъ сопротивление его должно быть 0,02 ома; отсюда вычисляемъ (припимая мѣдный, конечно, проводъ), что его сѣченіе должно равняться 16 квадр. сант. (1600 кв. миллимет.), вѣсъ 28000 килограммовъ, стоимость около 30000 рублей. Если же взять машину, дающую токъ высокаго напряженія, т.-е. альтернаторъ, то передаточный проводъ можетъ имѣть сопротивление въ 2 ома; тогда его сѣченіе будетъ не болѣе 16 кв. миллиметровъ, вѣсъ всего 280 килограммовъ, а стоимость только 300 рублей. Разница между стоимостью въ 30000 и 300 рублей въ достаточной степени убѣдитъ насъ въ выгоде такого вида машинъ. Не удивительно, что теперь не рѣдкость альтернаторъ съ 20000 вольтъ напряженія; для сравненія напомнимъ, что средней величины машина Гольца даетъ до 5000 вольтъ. Значитъ, передавать электрическую энергію при маломъ числѣ амперовъ и большомъ числѣ вольтъ гораздо выгоднѣе, чѣмъ при обратномъ отношеніи этихъ величинъ. Мы уже указали, что во многихъ горныхъ странахъ возможно насчетъ работы паденія воды получать неиссякаемые источники электрической энергіи. Запружая рѣки съ малымъ паденіемъ уровня воды

можно получить достаточное число уаттовъ; чтобы показать, какое количество работы можно получать даже отъ небольшихъ рѣчекъ, приведемъ такой примѣръ: ничтожная рѣчка Сестра, запруженная у впаденія въ Сенежское озеро, даетъ достаточно энергіи для приведенія въ дѣйствіе 240 механическихъ ткацкихъ станковъ на заводѣ, расположенномъ почти въ 3 километрахъ отъ запруды. Поэтому не удивительно, что динамомашинны, приведенныя въ движеніе горными рѣками и рѣчками, развиваютъ очень много энергіи. Эта энергія распределяется отъ одной большой динамомашинны между большимъ числомъ мелкихъ электрическихъ двигателей (напр., въ Швеціи или Швейцаріи), которые даютъ возможность при кустарной работѣ пользоваться выгодами машиннаго производства. Ясное дѣло, что доступность и дешевизна электрической энергіи *на мнѣнье потребности* тѣсно связана съ усовершенствованіемъ альтернативныхъ машинъ. Но, несмотря на всѣ выгоды полученія энергіи альтернаторами съ очень большимъ числомъ вольтъ, употребленіе ихъ связано съ нѣкоторыми неудобствами. Громадное напряженіе электрической энергіи на полюсахъ такихъ машинъ или въ ихъ проводахъ превращаетъ ихъ въ машины, дающія опасныя искры. На заводѣ, гдѣ работаютъ рабочіе специалисты, эта опасность устраняется сравнительно легко, но при небольшомъ потребленіи, т.-е. именно при томъ способѣ пользованія электрической энергіей, для котораго она наиболѣе драгоценна, съ этимъ обстоятельствомъ приходится считаться. Поэтому изобрѣтеніе приборовъ, при помощи которыхъ можно превращать токъ съ большимъ количествомъ вольтъ и малымъ числомъ амперовъ въ токи съ малымъ вольтажемъ, но съ большимъ числомъ амперовъ, является чрезвычайно важнымъ для практической жизни. Такіе приборы *трансформаторы* были построены впервые препараторомъ физическаго кабинета въ Московскомъ университетѣ И. Ф. Усагинымъ. Во всѣхъ трансформаторахъ три цѣпи: первичная, вторичная и магнит-





при чемъ устриваютъ приспособленіе на подобіе прерывателя въ электрическомъ звонкѣ, такъ что токъ по-

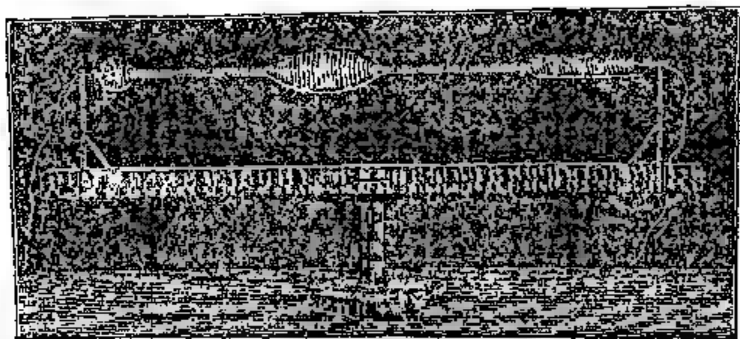


Рис. 111.

стоянно то замыкается, то прерывается. Въ результатѣ во вторичной катушкѣ обнаруживается наведенный токъ, при помощи котораго можно изучать различныя дѣйствія электричества весьма большаго напряженія. Особенно интересны свѣтотыя явленія въ трубкахъ съ разряженными газами (Гейслеровы и Плюкеровы трубки), въ которыхъ замѣчается не только характерная слоистость свѣтящагося газа (рис. 111), но и различная окраска у электродовъ и въ средней части трубки. При самыхъ сильныхъ разреженіяхъ газовъ въ этихъ трубкахъ (трубки Крукса) сіяніе и слоистость почти совершенно исчезаютъ, но зато появляется свѣщеніе самой трубки, наиболѣе яркое

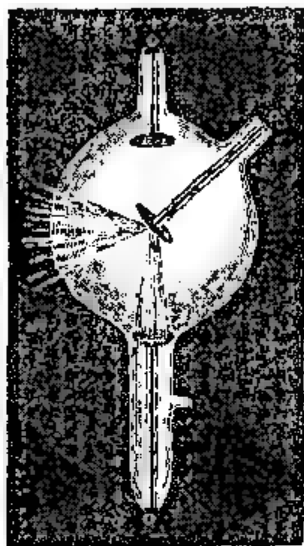


Рис. 112.

въ части противоположной отрицательному электроду; здѣсь какъ будто бы что-нибудь выбрасывается отрицательнымъ электродомъ перпендикулярно къ его поверхности (рис. 112). Лучи, исходящіе отъ поверхностей, на которыя попадаютъ

такіе *катодные лучи*, навывають лучами Рентгена; они обладают способностью проходить чрезъ бумагу, дерево, человеческое тѣло и задерживаться многими металлами, костями. Благодаря этой способности лучей Рентгена (х-лучи, иксъ-

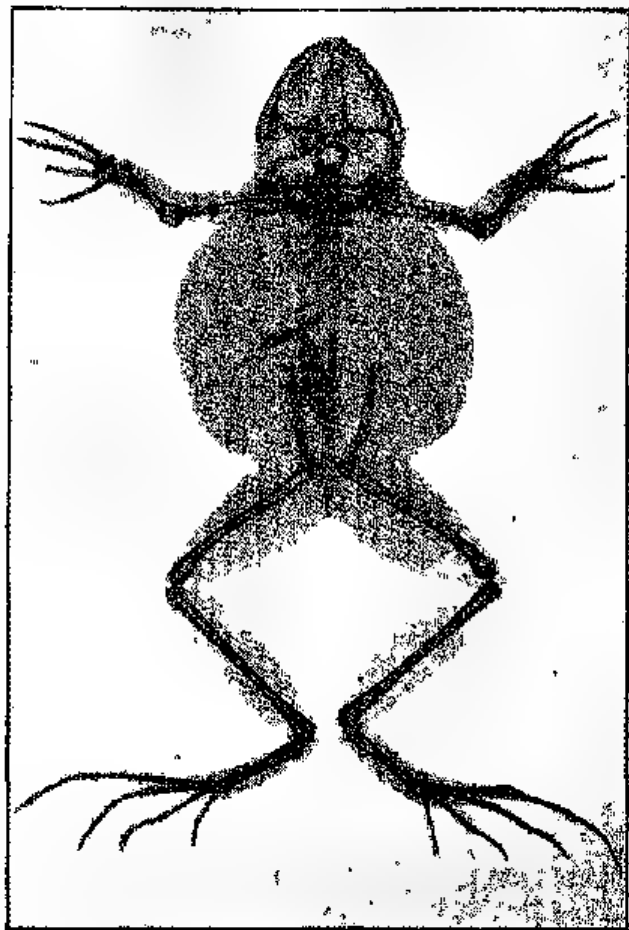


Рис 113.

лучи), они находятъ себѣ примѣненіе для фотографированія внутреннихъ органовъ и костей (съ медицинскими цѣлями) (рис. 113), опредѣленія положенія въ ранахъ пуль и осколковъ разрывныхъ снарядовъ и пр. Любопытно, что малень-

кая мельница съ крыльями изъ слюды перекачивается отъ отрицательнаго электрода къ положительному, если ее положить на особые рельсы внутри трубки Крукса. (Рис. 114.) Эти катодныя лучи отклоняются магнитомъ, какъ проводникъ, но которому идетъ токъ.

Не надо думать, что явленія электро-магнитной индукціи прилагаются только къ преобразованію электрической эиергіи въ механическую работу или къ обратному переходу этихъ двухъ видовъ эиергіи. Открытіе Фарадея оказалось приложимымъ и къ другой области, а именно—къ передачѣ звуковъ на разстояніе. Для того, чтобы было понятно, какъ

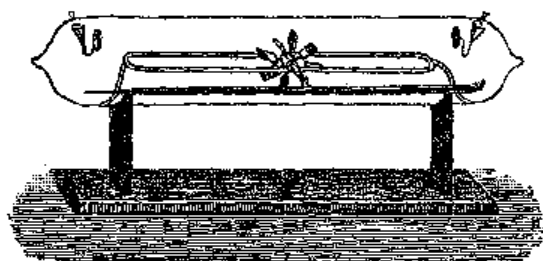


Рис. 114.

совершается такой переходъ, опишемъ сначала *фонографъ*, приборъ, дѣйствіе котораго не имѣетъ ничего общаго съ электрическими явленіями. Всѣмъ намъ извѣстно, что ощущенія звука по-

лучаются нами тогда, когда какое-нибудь тѣло находится въ дрожащемъ (колебательномъ) состояніи, причемъ мы не слышимъ звука, если число этихъ колебаній меньше 16 и больше 32000 въ секунду. Колебанія эти распространяются въ воздухъ или въ какомъ-нибудь другомъ тѣлѣ (вода, дерево, желѣзо даже быстрѣе и лучше передаютъ звуковыя колебанія, чѣмъ воздухъ), достигаютъ уха, вызываютъ колебанія барабанной перепонки, которая передаетъ ихъ чрезъ слуховыя косточки въ такъ называемый лабиринтъ, гдѣ они и даютъ намъ ощущенія звука. Предполагаютъ, что органомъ усвоенія звуковъ является такъ называемый Кортіевъ органъ въ лабиринтѣ. Частота колебаній обуславливаетъ высоту звука, ихъ размахъ (амплитуда)—силу, а одновременное сочетаніе въ одномъ звучащемъ тѣлѣ зву-

ковъ нѣсколькихъ высотъ и разной силы (такъ называемые обертоны) — тембръ. Представимъ себѣ, что мы говоримъ или поемъ предъ способной дрожать пластинкой, снабженной сзади остриемъ, тогда звуки нашего голоса передадутся пластинкѣ черезъ воздухъ въ видѣ колебаній опредѣленной частоты и силы, которыя заставляютъ острие подниматься и опускаться на большую или меньшую высоту. Если къ острию подвести валикъ, покрытый довольно мягкимъ слоемъ какого-нибудь вещества, а самый валикъ равномерно вра-

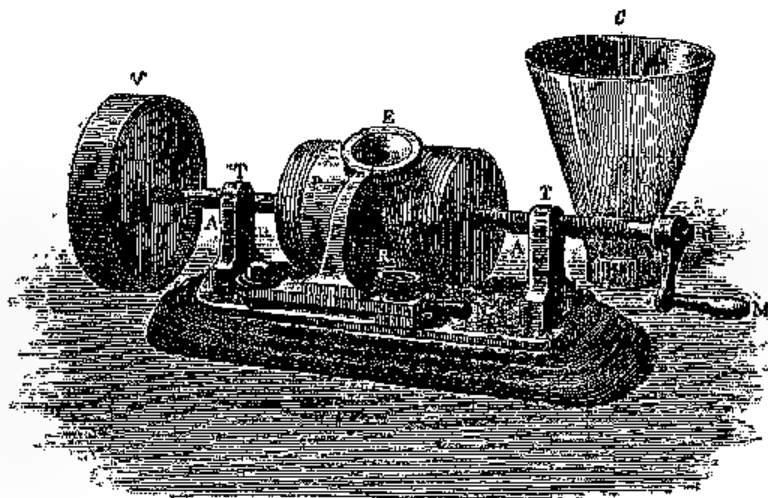


Рис. 115.

щать по винтовой линіи, то острие начертитъ на немъ рядъ полосокъ и точекъ различной длины и глубины. Если теперь ввести острие пластинки въ первое углубленіе и вращать валикъ съ той же скоростью, какъ и раньше, то острие, попадая то въ углубленія разной величины и длины, то на нѣтро-нутый слой, будетъ дрожать и заставитъ дрожать пластинку. Дрожанія пластинки (совершенно такія, какія были вначалѣ) передадутся сначала воздуху, а потомъ и нашему уху, которое и услышитъ, какъ показываетъ опытъ, звуки, произнесенные нами въ началѣ опыта. Такимъ образомъ, оказывается, что пластинка описаннаго нами *фонографа Эдиссона* (рис. 115)

можетъ служить источникомъ воспроизведенія человѣческаго голоса, разъ только ей приданы тѣ же колебанія,



Рис. 116.

какія она получала отъ дѣйствія звуковыхъ волнъ нашего голоса. Понятно, что и другіе звуки могутъ быть воспроизведены такимъ же образомъ, и мы привели опытъ съ человѣческимъ голосомъ, какъ звукомъ наиболѣе сложнаго ха-

рактера. На этомъ же свойствѣ колеблющейся пластинки основано дѣйствіе болѣе простаго прибора *граммофона* (рис. 116).

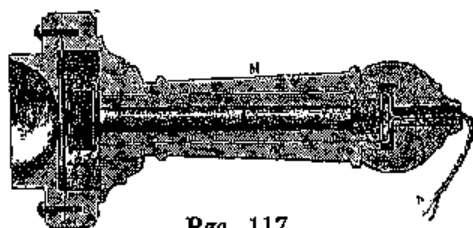


Рис. 117.

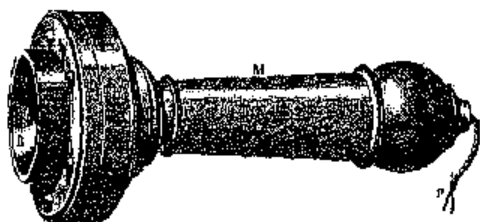


Рис. 118.

Приборъ, изобрѣтенный Грэмомъ Беллемъ и получившій названіе *телефона*, представляетъ аппаратъ для преобразованія механической работы звуковыхъ волнъ въ электрическую энергію на станціи отправленія и для обратнаго превращенія этой энергіи въ звуковыя колебанія на приѣмной станціи. Онъ состоитъ изъ стального магнита *A* (рис. 117 и

118), одинъ изъ полюсовъ котораго обвитъ изолирован-

ной проволокой *b*; концы проволокъ *m* и *n* отъ этой катушки соединены съ двумя проволоками, идущими отъ такого же аппарата на другой станціи. Очень близко отъ конца магнита, но не въ соприкосновеніи съ нимъ, лежитъ круглая желѣзная пластинка *O*. Если станемъ произносить какія-нибудь слова передъ отверстіемъ телефона *B*, то звуковыя волны станутъ колебать пластинку, которая будетъ при этомъ то приближаться, то удаляться отъ магнита. Сила притяженія между желѣзной пластинкой и магнитомъ вслѣдствіе измѣненія разстоянія измѣняется, а слѣдовательно измѣняется и магнитное состояніе самаго магнита; это измѣненіе, конечно, вызываютъ въ катужкѣ индукціонныя токи, которые передаются чрезъ соединительную проволоку такому же аппарату на другой станціи; здѣсь эти индукціонныя токи вліяютъ на магнитное состояніе магнита, вслѣдствіе чего пластинка начинаетъ измѣнять свое положеніе относительно магнита и въ то же время, конечно, воспроизводитъ тѣ же звуковыя волны, которыя на станціи отправленія вызвали колебанія пластинки. Естественнo ожидать, что эти волны, попадая въ наши органы слуха, даютъ тамъ впечатлѣніе звуковъ, произнесенныхъ на станціи отправленія. Дѣйствительно, на разстояніи даже нѣсколькихъ верстъ можно не только слышать слова, но и различать тембръ голоса говорящаго. Надо замѣтить, что тембръ голоса все-таки замѣтнымъ образомъ измѣняется вслѣдствіе того, что колеблющаяся пластинка имѣетъ свои собственныя колебанія, которыя и примѣшиваются къ голосу, внося въ него своеобразную „окраску“. Понятно, что токи, идущіе по проволокамъ телефона, чрезвычайно слабы: ихъ сила измѣняется только стотысячными ампера. Поэтому для ясности звука пользуются не индуктивными токами, возбуждаемыми голосомъ, а токомъ отъ батареи, вводя въ телефонную цѣпь *микрофонъ Юза* или *Адера*. Этотъ микрофонъ (рис. 119) устроенъ такимъ образомъ: между телефономъ и батареей устанавливаютъ между двумя проводящими пластинками изъ плотнаго угля (кокса

или изового графита) одинъ (Юзъ) или иѣсколько (Адеръ) стерженьковъ тоже изъ угля. Если производить вблизи стерженьковъ самыя слабыя звуки (напр., шумъ воздуха въ трахеяхъ насѣкомыхъ, шумъ отъ шаговъ мухи и т. п.), то вслѣдствіе перемѣщенія стерженьковъ мѣняется сопротивление, а слѣдовательно, и сила тока отъ звуковыхъ колебаній въ катушкѣ телефона развиваются индуктивные токи, которыя съ силой колеблутъ желѣзную пластинку, съ точностью воспроизводя колебанія, вызванныя звуками голоса въ микрофонѣ. Благодаря такому сочетанію, — мы говоримъ въ микрофонѣ, а слушаемъ въ телефонѣ, — удастся передать звуки на разстояніи многихъ сотенъ километровъ съ достаточной ясностью. У насъ, напр., существуетъ телефонъ между Москвой и С.-Петербургомъ на разстояніи 609 верстъ <sup>1)</sup>).

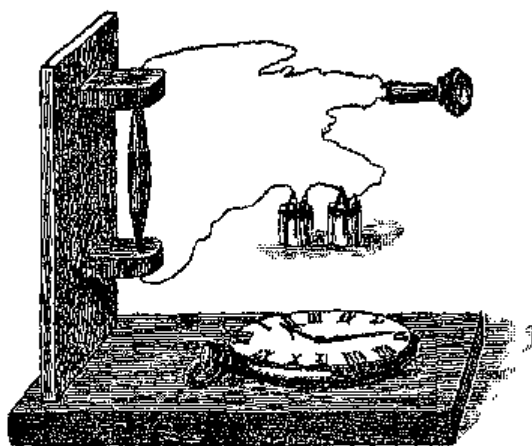


Рис. 119.

Говоря о передачѣ звука на разстояніи, нельзя обойти молчаніемъ такъ называемый *фотофонъ*; устройство этого прибора основано на свойствѣ селена (элемента, напоминающаго по своимъ свойствамъ сѣру, довольно рѣдко встрѣчающагося въ природѣ) измѣнять электропроводность подъ вліяніемъ освѣщенія. Включая селеновую пластинку въ цѣдь съ телефономъ, мы не замѣтимъ ни одного звука, по-

<sup>1)</sup> Такъ какъ вольтова дуга представляетъ своего рода мостикъ для тока между углями, сопротивление котораго мѣняется въ зависимости отъ разстоянія углей, то при извѣстномъ расположеніи частей цѣпи можно сдѣлать дугу источникомъ звука (напр., иѣній), производимаго на большомъ разстояніи отъ нея.

камѣсть напряженность освѣщенія пластинки не измѣнится. Но увеличеніе освѣщенія повлечетъ за собой уменьшеніе сопротивленія селеновой пластинки, слѣдовательно, увеличитъ силу тока въ цѣпи, а это измѣненіе силы тока, если только оно періодическое, вызываетъ дрожаніе пластинки телефона, т.-е. даетъ звукъ. На станціи отправленія говорятъ позади тонкаго колеблющагося зеркала; лучи отъ него при помощи соотвѣтственныхъ приспособленій передаются селеновой пластинкѣ, которая, параллельно съ силой освѣщенія, то уменьшаетъ, то увеличиваетъ силу тока въ цѣпи съ телефономъ. Въ результатѣ достигается воспроизведеніе рѣчи желѣзной пластинкой телефона, колеблющейся подъ вліяніемъ индуктивныхъ токовъ, которые мы вызвали, измѣняя силу тока въ цѣпи. Такимъ образомъ превращеніе энергіи—механическая—электрическая—механическая, достигнуто при помощи введенія новаго вида энергіи—лучистой.

Итакъ, открытіе явленій индукціи Фарадеемъ въ типш его лондонской лабораторіи привело къ преобразованію даровой механической энергіи въ электрическую, дало намъ возможность дешево и удобно пересылать энергію съ мѣста на мѣсто, примѣнять электрическую энергію къ механическимъ двигателямъ, говорить и слышать другъ друга на разстояніи нѣсколькихъ сотъ километровъ, другими словами, выводы чистой науки оказались пригодными для необыкновенно большаго числа практическихъ цѣлей. Точно такъ же сложныя и трудныя математическія изысканія Кларка Максвелла привели къ знаменитымъ опытамъ Герца и уже сейчасъ дали намъ возможность передавать электрическую энергію *безъ проводовъ* на значительныя разстоянія. Значеніе этихъ опытовъ такъ велико, что мы постараемся въ бѣгломъ очеркѣ передать ихъ сущность. Для этого намъ сначала придется познакомиться съ проявленіемъ энергіи въ лучахъ свѣта.



## ГЛАВА VIII.

### Свѣтотыя и электрическія волны.

Общая сумма всѣхъ нашихъ свѣдѣній о свѣтѣ сводится къ тому, что мы должны признать существованіе *свѣтовыхъ волнъ* въ „эфирѣ“. Подъ эфиромъ мы подразумѣваемъ среду чрезвычайно малой плотности и безконечно большой упругости. При этомъ полезно напомнить, что, хотя очень упругая и въ то же время разрѣженная форма матеріи намъ извѣстна въ видѣ газообразнаго состоянія тѣлъ, тѣмъ не менѣе свойства „эфира“ больше подходятъ къ свойствамъ тѣлъ твердыхъ. Такъ какъ эфиръ пропикаетъ всѣ тѣла, то свѣтъ можетъ распространиться въ видѣ колебаній эфира въ межпланетномъ пространствѣ, въ твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ тѣлахъ, конечно, съ различной скоростью, которая обуславливается упругостью и плотностью среды. Въ „пустотѣ“ (значить въ свободномъ эфирѣ) свѣтъ въ одну секунду проходитъ 300.000 километровъ — среднее число, выведенное изъ цѣлаго ряда согласныхъ между собой астрономическихъ наблюденій и физическихъ опытовъ. Число колебаній достигаетъ многихъ билліоновъ разъ въ секунду, такъ что длина отдѣльныхъ волнъ, ощущаемыхъ нашимъ глазомъ, какъ свѣтъ различныхъ цвѣтовъ, колеблется отъ 0,0008 миллиметра для краеныхъ и 0,0004 миллиметра для фіолетовыхъ, видимыхъ еще нами лучей. При переходѣ изъ одной среды въ другую, лучи частью *отражаются*, частью *преломляются*, отклоняясь отъ первоначальнаго направленія. Эти явленія мы можемъ легко прослѣдить, ставя на пути прямолинейнаго луча стеклянное зеркало или полированную пластинку металла — съ одной стороны или направляя при помощи зеркала лучъ въ стаканъ воды — съ другой. Что свѣтъ, дѣйствительно, представляетъ колебанія, можно убѣдиться изъ того, что два луча, идущихъ изъ двухъ близкихъ источни-

ковъ свѣта, могутъ при надлежащемъ расположеніи опыта *показывать* другъ друга, вълѣдствіе такъ называемой интерференціи, т.-е. взаимнаго положенія волнъ другъ на друга <sup>1)</sup>. Еще болѣе убѣдительнымъ является прохожденіе луча свѣта чрезъ пластинки извѣстныхъ кристалловъ, выпиленныхъ по опредѣленному направленію. Такъ, напр., пропуская лучъ свѣта чрезъ пластинку *турмалина*, мы сводимъ его колебанія къ опредѣленному направленію, *поляризуемъ* его, какъ говорятъ. Понятно, что поляризоваться могутъ только лучи съ поперечнымъ колебаніемъ, а не съ продольнымъ. Если на пути такого поляризованнаго луча поставить такую же турмалиновую пластинку *перпендикулярно* предыдущей, то колебанія не пройдутъ чрезъ нее, и прозрачный минералъ вызоветъ угасаніе свѣта. Это угасаніе сейчасъ же замѣнится просвѣтленіемъ, если мы вторую пластинку поставимъ параллельно первой. Явленіе это вполне аналогично тому, которое наблюдается при размахиваніи палкой предъ рѣшеткой изъ вертикальныхъ брусьевъ; мы не можемъ провести палки (нантъ лучъ) чрезъ рѣшетку, если размахиваемъ ею перпендикулярно къ брусьямъ, и спокойно проводимъ ее, если эти размахи параллельны брусьямъ. Явленіе получаетъ еще большую красоту и ясность, когда мы беремъ вмѣсто темноватаго турмалина совершенно чистую, прозрачную и безцвѣтную призму Николя, сдѣланную извѣстнымъ образомъ изъ исландскаго шпата. Имѣя такія призмы, можно легко убѣдиться, что свѣтъ послѣ преломленія и отраженія всегда отчасти поляризуется. Если къ сказанному прибавить еще, что при прохожденіи свѣта чрезъ рѣшетку, составленную изъ непрозрачныхъ полосъ, и при отраженіи свѣта отъ такой рѣшетки тоже замѣчаются чередующееся то угасаніе, то усиленіе свѣта (диффракція свѣта), то мы перечис-

1) Пользуясь этими интерференціонными явленіями, можно опредѣлять длину волны каждаго рода лучей, какъ-то красныхъ, зеленыхъ, фіолетовыхъ и т. д.

лимъ всѣ главнѣйшія свойства однородныхъ свѣтовыхъ лучей.

Разборомъ теперь превращеніе энергіи при оптическихъ явленіяхъ. Для этого возьмемъ какое-нибудь твердое тѣло, напр., платиновую проволоку и станемъ нагрѣвать ее на безцвѣтномъ пламени спиртовой лампы или бунзеновской горѣлки. Проволока мало-по-малу начнетъ разогреваться, наконецъ, раскалится и будетъ свѣтиться *бѣлымъ свѣтомъ*. Мы можемъ при этомъ свѣтѣ разсматривать различныя окрашенныя картины и увидимъ, что онѣ представляются намъ такими же, какъ и при дневномъ свѣтѣ. Внесемъ теперь въ безцвѣтное пламя бунзеновой горѣлки въ ушкѣ платиновой проволоки немного поваренной соли; такъ какъ при этомъ все пламя окрасится въ ярко желтый цвѣтъ, то, значить, наша соль испаряется и ея раскаленные пары окрашиваютъ пламя; если мы станемъ разсматривать окрашенныя различными яркими красками картины при этомъ желтомъ свѣтѣ, то увидимъ, что наши картины будутъ казаться только двухцвѣтными: съ желтыми и черными изображеніями. Замѣнивъ поваренную соль бертолетовой, увидимъ быстро исчезающее фіолетовое окрашиваніе; при этомъ фіолетовомъ свѣтѣ наши картины кажутся окрашенными только фіолетовой и черной красками. Изъ этого мы выводимъ, что *бѣлый свѣтъ* (солнце, раскаленная добѣла платина, друммондовъ свѣтъ, вольтова дуга) сложный и состоитъ изъ цѣлаго ряда цвѣтовъ, т.-е., другими словами, въ немъ можно найти свѣтовые волны всѣхъ возможныхъ длинъ; этотъ бѣлый свѣтъ испускаютъ сильно нагрѣтые *твердые* и *жидкія* тѣла; что касается *газовъ* и *паровъ*, то мы видимъ, что они даютъ волны опредѣленной длины, которыя зависятъ отъ свойствъ паровъ и газовъ<sup>1)</sup>. Физики доказываютъ (пу-

<sup>1)</sup> На этомъ основано приложеніе изслѣдованія спектра тѣлъ въ газообразномъ состояніи для *спектральной аналѣзы*. Каждому простому тѣлу отвѣчаетъ рядъ волнъ нѣкоторой длины, притомъ ни въ одномъ тѣлѣ мы не замѣчаемъ волнъ, одинаковыхъ съ волнами отъ другихъ тѣлъ.

темъ вычисленія и опытовъ), что длина волнъ, испускаемыхъ совершенно чернымъ твердымъ или жидкимъ тѣломъ, зависитъ только отъ температуры; если же тѣло имѣетъ окраску, то цвѣтъ его при нагрѣваніи мѣняется въ зависимости отъ этой окраски. Такъ, напр., желѣзо и платина свѣтятся разнымъ свѣтомъ при одной и той же температурѣ. Пропуская лучъ бѣлаго свѣта чрезъ стеклянную призму, мы разлагаемъ его на цѣлый рядъ цвѣтныхъ полосъ, дающій такъ называемый спектръ. Раскрасивъ цвѣтами спектра бѣлый кружокъ и быстро вращая его, мы получаемъ ощущение бѣлаго цвѣта. Послѣ этихъ опытовъ мы легко можемъ сообщить, что дѣлается съ бѣлымъ свѣтомъ, когда онъ падаетъ на разные тѣла, прозрачныя и непрозрачныя. При этомъ можетъ случиться, что падающіе лучи различной длины волны отразятся въ той же пропорціи, въ какой они падаютъ на поверхность тѣла: получается впечатлѣніе *бѣлаго* цвѣта. Не отразится ни одного, а поглотится все — получается впечатлѣніе *чернаго* цвѣта. Если часть лучей известной длины волны поглотится, а другая отразится, то мы будемъ получать впечатлѣніе отъ смѣси лучей разной длины волны, которая и дастъ въ нашихъ глазахъ ощущение желтаго, краснаго, зеленаго и т. д. цвѣтовъ. Такимъ же точно образомъ мы можемъ изслѣдовать и проходящіе чрезъ тѣла лучи: пройдутъ все лучи, задерживаясь въ той же пропорціи, какъ и въ бѣломъ свѣтѣ, получается представленіе о прозрачномъ *бесцвѣтномъ* тѣлѣ; если пройдетъ только часть лучей, то въ зависимости отъ длины ихъ волнъ мы будемъ получать представленіе о различныхъ цвѣтахъ тѣла въ проходящемъ свѣтѣ. На основаніи всего сказаннаго мы видимъ, что часть тепловой энергіи, доставляемой тѣлу, превращается въ лучистую энергію, которая можетъ задерживаться различными тѣлами при отраженіи или прохожденіи свѣта чрезъ эти тѣла. Разъ только помотилась часть лучистой энергіи въ видѣ колебаній опредѣленной длины волны, мы должны искать появленія новыхъ видовъ энергіи при

этихъ процессахъ. Проще всего предположить, что поглощенная энергія будетъ появляться въ видѣ тепловой, т.-е. другими словами, будетъ вызывать повышеніе температуры. Дѣйствительно, мы убѣждаемся, что всѣ безъ исключенія *черныя тѣла* нагрѣваются очень сильно, *бѣлые*<sup>1)</sup> и *цвѣтные*—слабѣе. При этомъ надо замѣтить, что поглощеніе *великаго* цѣлѣа луча вызываетъ нагрѣваніе.

Затѣмъ интересно отмѣтить превращеніе лучистой энергіи въ лучистую же: многія тѣла, напр., сѣрнистые кальцій, барій и стронцій, будучи подвергнуты дѣйствию свѣта, послѣ прекращенія освѣщенія свѣтятся въ темнотѣ очень долгое время. Это явленіе, называемое *фосфоресценціей*, обнаруживается почти всѣми тѣлами при очень низкихъ температурахъ; напр., стеаринъ, керосинъ и др. при температурѣ жидкаго воздуха долго и сильно фосфоресцируютъ, хотя при обыкновенной температурѣ или не обнаруживаютъ этого свойства совсѣмъ или же въ очень слабой степени<sup>2)</sup>. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ въ результатѣ дѣйствія лучистой энергіи замѣчается измѣненіе электрическихъ свойствъ; примѣромъ такихъ измѣненій можетъ служить измѣненіе электропроводности селена, о которой мы только что говорили въ VII главѣ.

Самыми, однакоже, интересными превращеніями будутъ, конечно, химическія явленія, вызываемыя свѣтомъ. При этомъ могутъ встрѣтиться два случая: 1) свѣтъ можетъ вызывать химическое превращеніе, сопровождающееся выдѣленіемъ тепла, и 2) тотъ же свѣтъ можетъ вызывать химическія превращенія, при которыхъ тепло поглощается. Примѣромъ явленій перваго типа можетъ служить превра-

<sup>1)</sup> Кроиъ свищовыхъ бѣллы, которыя поглощаютъ почти столько же тепла, сколько и сажа здѣсь происходитъ сильное поглощеніе лучей безъ нарушенія пропорціи ихъ силъ

<sup>2)</sup> Нѣкоторыя тѣла, напр., растворъ сѣрниокислаго хинина, сильно свѣтятся, если въ нихъ пропускать невидимые для глазъ ультрафіолетовые лучи. Подобныя явленія носятъ назв. *флуоресценции*.

щеніе смѣси хлора и водорода въ хлористый водородъ. Если смѣсь равныхъ объемовъ хлора и водорода выставить на прямой солнечный свѣтъ, то они соединятся съ сильнымъ взрывомъ. На разсѣянномъ свѣтѣ это превращеніе идетъ съ опредѣленной скоростью въ зависимости отъ силы свѣта <sup>1)</sup>. Здѣсь лучистая энергія играетъ ту же роль, какъ и нагрѣваніе для химическихъ реакцій, т.-е. увеличиваетъ скорость процесса. Примѣромъ второго типа реакцій можетъ служить разложеніе хлористаго серебра на составныя части (въ окончательномъ видѣ) подѣ влияніемъ свѣта. Что эта реакція требуетъ затраты энергіи, видно хотя бы изъ того, что серебро горитъ въ хлорѣ съ выдѣленіемъ значительнаго количества тепла. Хлористое серебро (а также іодистое и бромистое серебро) составляетъ существенную часть фотографическихъ пластинокъ. Разсматривая прежнія фотографіи, на которыхъ выходили только бѣлый, фіолетовый и отчасти сіній цвѣтъ бѣлымъ, а желтый, красный, оранжевый и черный — черными, можно было бы думать, что есть какія-нибудь особенныя химическіе лучи. Но существованіе *ортохроматическихъ* пластинокъ, на которыхъ съ равной ясностью передаются оттѣнки (бѣлымъ и чернымъ, конечно) всѣхъ возможныхъ цвѣтовъ, указываетъ намъ, что въ старыхъ пластинкахъ мы не *умѣли только* заставить лучистую энергію волнъ всякой длины превращаться въ химическую энергію, поглощая ее подходящими веществами въ пластинкѣ. Попятно, что и въ этого рода явленіяхъ запасъ химической энергіи во вновь образующихъ тѣлахъ является результатомъ поглощенія лучистой энергіи. Химическія дѣйствія лучистой энергіи являются очень распространенными. Выцвѣтаніе окрашенныхъ матерій на солнцѣ, желтѣніе бумаги, измѣненіе цвѣта свинцовыхъ

<sup>1)</sup> Подѣ силой свѣта мы подразумѣваемъ большую или меньшую его яркость, обусловливаемую величиной амплитуды (размаха) колебаній. Сила свѣта обратно пропорціональна квадратамъ расстояній, т.-е. одна свѣча даетъ столько же свѣта, сколько четыре на расстояніи вдвое большемъ.

бѣлили, — все это объясняется поглощеніемъ лучистой энергіи тѣлами и превращеніями ее въ химическую. Въ особенности интересны такія явленія этого типа, когда измѣненная на свѣту окраска въ темнотѣ пріобрѣтаетъ прежній оттѣнокъ; для этого прежде всего необходимо, чтобы ни одинъ изъ новыхъ продуктовъ не удалялся отъ того мѣста, гдѣ произошло измѣненіе. Напримѣръ, обыкновенныя (*не алмазариновыя*) синія чернила (растворъ берлинской лазури въ щавелевой кислотѣ) свѣтлѣютъ на солнечномъ свѣтѣ; полежавъ потомъ въ темнотѣ, они окисляются, поглощая кислородъ воздуха, и снова дѣлаются синими. Сукно окрашенное берлинской лазурью претерпѣваетъ такія же превращенія. Химическія явленія подъ вліяніемъ лучистой энергіи въ грандіозныхъ размѣрахъ происходятъ въ природѣ, и въ главѣ о физиологическихъ превращеніяхъ мы болѣе подробно остановимся на явленіяхъ разложенія углекислоты въ зеленыхъ частяхъ растений подъ вліяніемъ свѣта, такъ какъ этотъ процессъ лежитъ въ основѣ питанія всѣхъ живыхъ организмовъ.

Говоря о волнахъ, вызывающихъ въ нашемъ органѣ зрѣнія ощущенія свѣта, нельзя не указать, что, кромѣ лучей видимыхъ, существуютъ еще невидимые *тепловые* (инфракрасные) и химически дѣйствующие (ультрафіолетовые) лучи. То, что мы можемъ дѣлать съ лучами свѣтовыми, возможно и для лучей тепловыхъ, такъ что мы можемъ при помощи зеркалъ и оптическихъ стеколъ легко отражать и преломлять ихъ. Изучая ихъ поглощеніе, мы приходимъ къ заключенію, что тѣла, хорошо поглощающія тепловые лучи, являются въ то же время хорошими источниками для ихъ испускашя: приближая руку къ законченному металлическому ящику съ горячей водой, мы ясно чувствуемъ тепло; въ то же время мы знаемъ, что покрытые сажей предметы нагрѣваются лучистой теплотой очень легко. Обратное явленіе мы наблюдаемъ, поднося руку къ блестяще отполированному кипящему самовару:

мы не ощущаемъ теня (конечно, руку надо держать *не* надъ самоваромъ); параллельно съ этимъ мы легко можемъ убѣдиться, что тепловые лучи легко отражаются блестящей металлической поверхностью: стоитъ только на окрашенную масляной краской дощечку наклеить оловянные блестящія буквы или знаки и поднести ее къ огню: краска вспучится на всей дощечкѣ, кромѣ мѣстъ, защищенныхъ металломъ. Въ болѣе точномъ видѣ это явленіе изучено на видимыхъ лучахъ и формулируется такъ: каждая среда поглощаетъ лучи той длины волны, которые она сама испускаетъ. Благодаря этому закону, впервые установленному Вунзеномъ, удалось по темнымъ линіямъ въ спектрѣ солнца установить химическій составъ хромосферы солнца. Этотъ законъ вмѣстѣ съ закономъ о поглощеніи и испусканіи тепловыхъ лучей представляетъ частный случай закона разсѣянія энергіи, которому мы посвящаемъ особую главу.— Познакомившись въ очень общихъ чертахъ съ волнами свѣта, обратимся къ интересующему насъ вопросу объ электрическихъ колебаніяхъ.

Въ свое время (стр. 130) мы говорили о различныхъ единицахъ для электрическихъ измѣреній, какъ-то количествѣ электричества, емкости, сопротивленія и т. д. Мы видѣли, что всѣ эти единицы могутъ быть выражены въ абсолютной системѣ *c. g. s.*, т. е. въ сантиметрахъ, граммахъ и секундахъ, при чемъ основное количество мы опредѣляли по силѣ взаимодѣйствія двухъ *электрическихъ* массъ, дѣйствующихъ другъ на друга по закону Кулона. Но съ такимъ же правомъ, пользуясь взаимодѣйствіемъ магнитовъ и токовъ, мы могли бы взять за основное количество величину, опредѣляемую силой, съ которой взаимодѣйствуютъ двѣ *магнитныя* массы по тому же закону Кулона. Изъ основного количества выводятся всѣ остальные, такъ что для каждого отдѣльнаго примѣра, будь то сила тока или сопротивленіе проводника или электростатическая емкость и т. д., мы получаемъ двѣ системы единицъ, совершенно аналогично тому, какъ мы



можемъ выражать разстояніе между, напр., Москвой и Петербургомъ или верстами—609 верстъ—или часами—11 часовъ ѣзды, при чемъ оба выраженія одной и той же величины, конечно, легко могутъ быть сравниваемы между собой. Сравнивая эти системы между собой, мы находимъ, что количество электричества, отвѣчающее электромагнитной единицѣ, всегда равно количеству, соответствующему электростатической единицѣ, умноженному на нѣкоторое очень большое постоянное число. Если произвести въ дѣйствительности измѣренія, то окажется, что это число равно 30.000.000.000 или  $3 \times 10^{10}$  единицъ с. г. с. или 300.000 километрамъ, т.-е. скорости свѣта въ эфирѣ въ одну секунду. Изъ этого можно вывести, что если бы зарядъ перемѣщался по направленію проводника бесконечной длины со скоростью свѣта, то у насъ получился бы процессъ, равносильный току.

Мы уже говорили, что токъ обусловливается разностью потенціаловъ, напр., на двухъ металлахъ, погруженныхъ въ жидкость, при чемъ эта разность постоянно поддерживается, такъ что при соединеніи этихъ металловъ проводникомъ у насъ получается непрерывное паденіе потенціала вдоль проводника. Если же мы возьмемъ два проводника, заряженныхъ противоположными электричествами, напр., обкладки Клейстеровской банки, то при соединеніи ихъ получится разрядъ, но не непрерывный, а колебательный, т.-е. произойдетъ перенесеніе электричества то къ одному проводнику, то къ другому. Въ этомъ можно убѣдиться, рассматривая искру при помощи быстро вращающагося зеркала или пропуская ее между золотымъ и серебрянымъ шариками; въ послѣднемъ случаѣ можно обнаружить присутствіе золота на серебряномъ шарикѣ, и серебра—на золотомъ. Поэтому при такомъ способѣ разряда мы должны прійти къ представленію объ электрическихъ колебаніяхъ, которыя могутъ распространяться съ опредѣленною скоростью. К. Максвеллъ еще въ 1865 году

теоретически доказалъ, что электрическія колебанія должны распространяться въ пустотѣ съ тою же скоростью, какъ и свѣтвыя волны, и заключилъ изъ этого о тождествѣ этихъ двухъ родовъ волнъ. Эти теоретическія представленія Максвелла были провѣрены прямыми опытами Герца, который получилъ очень быстрыя колебанія и могъ изслѣдовать свойства электрическихъ волнъ. Его *вибраторъ* (вызыватель колебаній) состоитъ изъ двухъ пластинокъ, соединенныхъ съ полюсами вторичной катушки Румкорфа при помощи небольшихъ шариковъ на прямолинейныхъ стержняхъ (рис. 120). Какъ только пластинки получаютъ известную разность потенціаловъ, какъ между ними проскочить искра, и по этому пути или мосту <sup>1)</sup> сейчасъ же установится колебательный разрядъ между пластинками. Это явленіе повторяется при каждомъ движеніи электричества

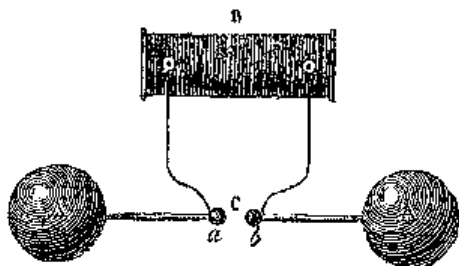


Рис. 120.

во вторичной спирали Румкорфа. Когда вибраторъ дѣйствуетъ, всѣ металлическіе предметы, какъ изолированные, такъ и соединенные съ землей, являются источникомъ выдѣленія искръ. Если взять кругъ изъ проволоки, на одинъ конецъ его навинтить шарикъ, а на другой — подвижное остріе, то получится приборъ, который дастъ возможность по длинѣ и блеску искры судить о дѣйствіи вибратора въ каждой точкѣ комнаты, гдѣ производится опытъ. Оказывается, что каменные стѣны не препятствуютъ распространенію колебаній, металлическая же пластинка болѣе или менѣе задерживаетъ эти колебанія. Интересно для насъ то обстоятельство, что мы имѣемъ возможность усилить дѣйствіе вибратора, присоеди-

<sup>1)</sup> Всѣ опыты показываютъ, что искра представляетъ какъ бы *пути* или *мосты* для электрическихъ колебаній.

няя къ нему (несимметрично) металлическую рамку опредѣленной величины; эта рамка <sup>1)</sup> дѣйствуетъ какъ *резонаторъ* въ случаѣ звуковыхъ волнъ. Для того чтобы опредѣлить длину этихъ волнъ, Гертцу пришлось отражать ихъ отъ металлической поверхности, параллельной вибратору. Отраженные волны шли, конечно, навстрѣчу прямымъ, и въ результатѣ сочетанія ихъ получались мѣста, гдѣ дѣйствіе прямой волны уничтожаетъ дѣйствіе волны отраженной. Эти мѣста называются узлами. Зная промежутокъ между двумя узлами, напр., 4 метра, можно вычислить длину волны (8 метровъ), а если эту длину умножить на число волнъ въ секунду (у Гертца много тысячъ милліоновъ въ секунду), то получится и скорость распространенія. Обыкновенно получается число очень близкое къ 300.000 километрамъ въ секунду, т.-е. выведенная теоретически Максвелломъ скорость распространенія электрическихъ колебаній, равная скорости свѣта. Сначала получали только очень длинныя волны въ нѣсколько метровъ, но потомъ, уменьшая размѣры вибраторовъ и резонаторовъ <sup>2)</sup>, достигли очень большого числа колебаній и получили волны, размѣры которыхъ опредѣляются только сантиметрами и ихъ долями. Электрическія волны можно *отражать* отъ металлическихъ поверхностей разной формы („зеркала“), *преломлять* чрезъ призмы изъ дурно проводящаго вещества, наконецъ, даже *поляризовать*, пропуская ихъ чрезъ рѣшетку изъ мѣдныхъ проволокъ, натянутыхъ параллельно другъ другу, *помогать* ихъ отдѣльными тѣлами, словомъ—продѣлывать съ ними все то, что мы можемъ сдѣлать съ лучами свѣта. Если прибавить ко всему этому, что плоскость поляризаціи поляризованнаго луча свѣта, про-

<sup>1)</sup> Длина рамки, дѣйствующей какъ хорошій резонаторъ, опредѣляется такимъ образомъ: надо чтобы продолжительность пробѣга волны по всей длинѣ рамки равнялась времени одного простого колебанія вибратора.

<sup>2)</sup> Приборы проф. Моск. ун. П. Н. Лебедева, который получилъ очень короткія волны, настолько миниатюрны, что всѣ укладываются въ ладони средней величины готовальни.

ходящаго между полюсами магнита (въ магнитномъ полѣ), отклоняется (магнитное вращеніе плоскости поляризаціи), а лучи свѣта (лучше всего такъ называемые ультрафіолетовые, уже для глаза невидимые) способны разряжать заряженные электро-отрицательно тѣла<sup>1)</sup>, то для насъ станеть яснымъ, что въ дѣйствительности природа свѣта и электричества одна, и всѣ эти явленія могутъ быть представлены, какъ колебанія въ одной и той же „эфирной“ средѣ.

Интересно отмѣтить то обстоятельство, что на основаніи непосредственныхъ опытовъ Гертца, мы должны признать, что эти электрическія колебанія распространяются вдоль проволоки *по воздуху*, а не по самой проволоцѣ.

При постоянномъ тоцѣ часть энергіи проникаетъ въ проволоку, нагревая ее, но если токъ переменный и его перемены очень быстро слѣдуютъ другъ за другомъ, то можно ожидать, что его распространеніе ограничится только поверхностью проводника. Поэтому-то Николаю Теслѣ и удавалось получать при необычайно громадной разности потенциаловъ (сочетаніе сильнаго постоянного тока, громадныхъ бобинъ Румкорфа и батарей изъ огромныхъ Клейстовскихъ банокъ) и громаднаго числа колебаній искровые разряды длиною въ нѣсколько метровъ, совершенно безопасные для человѣка.

Итакъ, мы можемъ при помощи вибратора вызвать электрическую волну съ опредѣленнымъ числомъ колебаній; волна эта перемѣщается въ воздухѣ (собственно говоря въ эфирѣ) со скоростью равной скорости свѣта; если ее припять на резонаторъ, то она даетъ искру или другимъ какимъ-либо способомъ обнаружить свое дѣйствіе. Вотъ въ короткихъ словахъ тѣ основанія, на которыхъ Поповъ и Марconi устроили свои электрическіе телеграфы безъ про-

1) Въ этомъ мы легко можемъ убѣдиться, направляя свѣтъ отъ электрическаго фокаря, изъ котораго *вынуты все стекла*, на электроскопъ, заряженный отрицательнымъ электричествомъ: ласточки сейчасъ же спадаютъ.

водовъ. Къ вибратору, вызывающему электрическую волну дѣйствіемъ колебательнаго разряда, придѣляется резонаторъ въ видѣ огромной мачты (рис. 121). Эта желѣзная мачта и является тѣмъ мѣстомъ, отъ котораго исходятъ электрическія волны. Волна, дойдя до пріемной станціи,

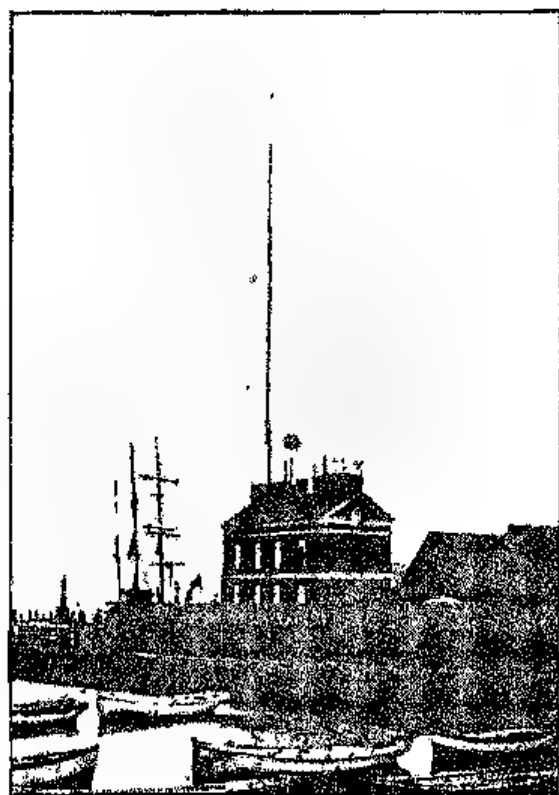


Рис. 121

воспринимается другой желѣзной мачтой, по которой электрическія колебанія проникаютъ внутрь станціи (рис. 122). Для того чтобы обнаружить ихъ присутствію, обыкновенно употребляютъ очень чувствительный пріемникъ, названный по имени изобрѣтателя *радіокондукторомъ Брауна*. Устройство этого радіокондуктора такое: въ стеклянную трубку внаплены съ двухъ концовъ платиновыя проволоки, заканчивающіяся внутри

трубки пришлифованными металлическими (обыкновенно серебряными) пробками; пространство между пробками неплотно засыпано рыхлыми металлическими опилками, воздухъ изъ трубки выкаченъ. Если такую трубку включить въ цѣпь отъ элемента, то рыхлый порошокъ представляетъ такое огромное сопротивленіе, что тока въ цѣпи не будетъ. Но стоитъ только пройти чрезъ трубку электриче-



нятно, надо привести металлическій порошок въ первоначальное состояніе; этого достигаютъ, пристраивая къ трубкѣ молоточекъ въ родѣ того, какой устраивается въ электрическихъ звонкахъ. Такого рода радіокондукторъ, соединенный съ резонаторомъ-приемникомъ, можетъ обнаруживать самыя слабыя колебанія. Благодаря различнымъ чисто техническимъ усовершенствованіямъ, удастся все болѣе и болѣе увеличивать разстояніе между двумя станціями. Телеграфированіе безъ проводовъ наибольшее примѣненіе получило, какъ и слѣдовало ожидать, для сообщенія судовъ въ открытомъ морѣ съ берегомъ, и надо надѣяться, что начавшіяся, довольно успѣшныя надо сказать, попытки установить беспроводное сообщеніе между Европой и Америкой скоро увѣнчаются полнымъ успѣхомъ. Понятное дѣло, увеличеніе разстоянія влечетъ за собой усиленіе первоначально дѣйствующаго тока, а мы уже видѣли, что съ этой стороны едва ли могутъ встрѣтиться препятствія, такъ какъ токи прямо невѣроятныхъ напряженій, но необычайно быстро мѣняющіе свое направленіе, являются вполнѣ безопасными. Надо думать, что будетъ устранено и то очень важное неудобство, что посланная воздушная телеграмма попадаетъ на всѣ встрѣчныя и окрестъ лежащія станціи. Ключъ къ тайпѣ найденъ, и техническія усовершенствованія, по всему вѣроятію, не только доведутъ телеграфъ безъ проводовъ до такой степени удобства пользованія, какъ и обыкновенный телеграфъ, но, быть-можетъ, въ скоромъ времени дадутъ намъ возможность пересылать электрическую энергію безъ проводовъ въ требуемое мѣсто.

Подведемъ теперь итоги всему сказанному объ электрической энергіи. Мы видимъ, что всѣ ея пре-

---

нетъ и не появится при возобновленіи тока. Но стоитъ только дать электрической волнѣ пройти чрезъ угольки, какъ между ними блеснетъ искорка и сейчасъ же появится вольтова дуга: искра явилась проводникомъ тока, замкнувъ первоначальное соприкосновеніе угля.

вращенія внолиѣ согласуются съ закономъ сохраненія эноргіи, выведеннымъ путемъ цѣлаго ряда опытовъ и наблюденій надъ явленіями въ другихъ областяхъ. Далѣе мы убѣдились, что химическая энергія представляетъ наиболѣе удобную форму для храненія потенціальной энергіи; поэтому — то при помощи динамомашинъ, а затѣмъ аккумуляторовъ мы превращаемъ даровую кинетическую энергію вѣтра, текущей воды, водопадовъ и т. д. въ эту наиболѣе удобную для сохраненія запасовъ энергіи форму; накопленная энергія можетъ быть опять превращена въ электрическую, которую можно удобно и дешево передавать отъ мѣста на мѣсто при помощи проводниковъ. Примѣняя трансформированіе токовъ, мы можемъ всегда имѣть подъ руками электрическую энергію той степени напряженія, которая необходима намъ для различныхъ работъ. — Всѣ эти удобства, въ связи съ замѣчательной точностью учета работы, силы тока, его электродвижущей силы и другихъ величинъ, приводятъ къ тому, что въ настоящее время электрическая энергія все болѣе и болѣе примѣняется для нагреванія, освѣщенія, приведенія въ дѣйствіе двигателей и машинъ, въ химическихъ процессахъ, включая въ то число такіа операціи, какъ, напр., приготовленіе стекла и т. п. Работать при помощи электрической энергіи такъ удобно, что во многихъ случаяхъ предпочитаютъ не непосредственно пользоваться изъ какого-либо источника ея энергіей, а сначала переводить ее въ электрическую энергію и уже въ такой формѣ прилагать ее къ дѣлу.

## ГЛАВА IX.

### Превращенія энергіи въ тѣлахъ животныхъ и растений.

Ежедневный опытъ убѣждаетъ насъ, что всѣ живыя существа, какъ животныя, такъ растенія, принимаютъ очень дѣятельное участіе въ превращеніяхъ энергіи. Процессы,



происходящія при этомъ, такъ сложны, что еще сравнительно не такъ давно выдѣляли *живыя* тѣла въ особый отдѣлъ, въ которомъ дѣйствуютъ причины и условія, совершенно непохожія на тѣ, какія мы видимъ въ тѣлахъ мертвыхъ. Весьма оригинально то обстоятельство, что на ряду съ признакомъ особой „жизненной силы“ — основной причины процессовъ въ живыхъ тѣлахъ — допускалось самопроизвольное зарожденіе живыхъ существъ... Въ настоящее время можно считать доказаннымъ, что всѣ извѣстныя намъ живыя существа произошли отъ подобныхъ себѣ („*omne vivum ex ovo*“); съ другой стороны, доказано, что очень многіе процессы, протекающіе въ живыхъ тѣлахъ, при тщательномъ изученіи оказались разнообразными сочетаніями механическихъ или физико-химическихъ процессовъ. Благодаря трудамъ цѣлаго ряда химиковъ, начиная съ Бергмю, удалось произвести цѣлый рядъ синтезовъ „органическихъ“ веществъ. Эти синтезы, т.-е. построения изъ простѣйшихъ тѣлъ, показали намъ, что въ лабораторіяхъ мы пользуемся тѣми же силами, что и въ живыхъ организмахъ: жиры, сахара, кислоты, различныя красящія и ароматическія вещества, многіе алкалоиды, спирты,—все это было приготовлено изъ элементовъ, причемъ оказалось, что эти искусственно полученныя тѣла ничѣмъ не отличаются отъ вырабатываемыхъ растеніями или животными. Правда, синтеза бѣлковъ еще не удалось произвести, такъ какъ предварительныя изслѣдованія бѣлковъ, необходимыя для ихъ синтеза, только въ послѣднее время стали на твердую почву; синтеза этихъ основныхъ посителей жизни нельзя и требовать въ настоящее время отъ органической химіи, которая пользуется методами полного синтеза всего около сорока лѣтъ <sup>1)</sup>, тѣмъ болѣе, что еще не удалось

<sup>1)</sup> Мы считаемъ начало правильныхъ синтезовъ отъ работъ Марслена Бергмю (1863 годъ), который ясно и точно опредѣлилъ, что надо считать синтезомъ, и сумѣлъ поставить свои опыты такимъ образомъ, что не могло

точными способами индивидуализировать бѣлокъ и точно установить его составъ, подводя его подъ какую-либо химическую формулу. Если бы даже и получили въ лабораторіи бѣлокъ изъ элементовъ, то между этимъ бѣлкомъ и какой-нибудь амемой — однимъ изъ простѣйшихъ организмовъ — была бы такая огромная разница, какъ между кусками мѣди, желѣза, стали и чугуна и сдѣланной изъ нихъ паровой машиной. Поэтому-то мы и должны разсматривать живые организмы — животныя и растенія — просто какъ тѣла, въ которыхъ совершается постоянный обмѣнъ веществъ съ окружающей средой, не вдаваясь ни въ какія предположенія кромѣ физико-химическихъ, которыя легко поддаются провѣркѣ и учету. Этотъ обмѣнъ въ главныхъ чертахъ сводится къ питанію и усвоенію различныхъ веществъ, съ одной стороны, и дыханію и разрушенію поглощенныхъ веществъ — съ другой. Въ свою очередь, процессы обмѣна естественнымъ образомъ сопровождаются значительными превращеніями энергіи. Для того чтобы лучше ознакомиться съ этими процессами, удобнѣе начать съ самой ранней ступени существованія живой особи — съ яйца животнаго и сѣмени или споры растенія. — Если взвѣсить куриное яйцо до начала насиживанія и затѣмъ въ концѣ его, то мы обнаружимъ значительную убыль въ вѣсѣ: скорлупа отдѣляетъ бѣлокъ и желтокъ отъ доступа какихъ-либо веществъ, кромѣ газовъ, и въ яйцѣ происходитъ только перераспредѣленіе вещества, т.-е. появляются новыя ткани; процессъ ихъ образованія сопровождается энергичнымъ газовымъ обмѣномъ — поглощеніемъ кислорода и выдѣленіемъ углекислоты. Стоитъ только покрыть яйцо лакомъ или воскомъ и потомъ положить его подъ курицу или въ термостатъ, — и никакой перегруппировки не про-

---

быть никакой рѣчи хотя бы о самомъ маломъ влияніи „жизненной силы“, напр., получая спиртъ, муравьиную кислоту и т. п. непосредственно изъ элементовъ.

изойдетъ, благодаря отсутствію доступа воздуха. Газообразный кислородъ входитъ въ яйцо чрезъ поры скорлупы, окисляетъ въ яйцѣ различныя составныя части вновь образованныхъ тканей, а газообразный продуктъ этого окисленія—углекислота тѣмъ же порядкомъ выходитъ чрезъ поры скорлупы. Возьмемъ сотню сѣмянъ гороха или бобовъ, отбирая по возможности одинаковыя, и пятьдесятъ изъ нихъ высушимъ до постояннаго вѣса при  $100^{\circ}$ , а другія 50 размочимъ въ водѣ и дадимъ имъ прорасти — въ *темнотѣ* и тепломъ мѣстѣ. Если теперь высушить такимъ же способомъ эти сѣмена, то окажется, что вѣсъ ихъ *меньше*, чѣмъ непроросшихъ пятидесяти, несмотря на то, что у нихъ



Рис. 123.

развились корешки и появились блѣдныя листочки. Если такія прорастающія сѣмена бобовъ или гороха помѣстить (въ темнотѣ) въ банку, чрезъ которую можно проводить лишенный углекислоты воздухъ, то окажется, что воздухъ при выходѣ изъ банки снова содержитъ значительное количество углекислоты. Значить, и здѣсь убыль въ вѣсѣ послѣ проростанія обуславливалась дѣйствіемъ кислорода и потерей части вещества въ видѣ углекислоты. Эти превращенія вещества сопровождаются развитіемъ большаго количества тепла насчетъ потенциальной энергіи кислорода и веществъ, входящихъ въ составъ яйца или сѣмянъ; въ самомъ дѣлѣ, насиживаемое яйцо долго сохраняетъ свою температуру (около  $38^{\circ}$ ), а термометръ, погруженный въ кучу прорастающихъ сѣмянъ, показываетъ температуру на нѣсколько градусовъ выше температуры окружающаго воздуха. Чтобы убѣдиться въ томъ, что здѣсь — въ яйцѣ и въ сѣменахъ — происходитъ только перегруппировка вещества, достаточно изслѣдовать строеніе сѣмени до и послѣ появленія листочковъ. О яйцѣ не приходится говорить, такъ какъ тамъ это очевидно. Если снять кожуру сѣмени боба *A* (рис. 123, 124 и 125), то мы увидимъ двѣ большихъ лопасти *B*, соеди-

неянныхъ какъ будто бы крючечкомъ *c*; при ближайшемъ изслѣдованіи крючечекъ оказывается зачаточнымъ корешкомъ *e*, стебелькомъ *d* и листочками *b*, словомъ — зародышемъ будущаго растенія. Лопастн оказываются биткомъ набитыми крахмаломъ и бѣлкомъ. Если изслѣдовать уже совсѣмъ проросшее сѣмя (рис. 126), то окажется, что корешокъ и стебелекъ значительно удлиннились, листочки



Рис. 124.



Рис. 125.

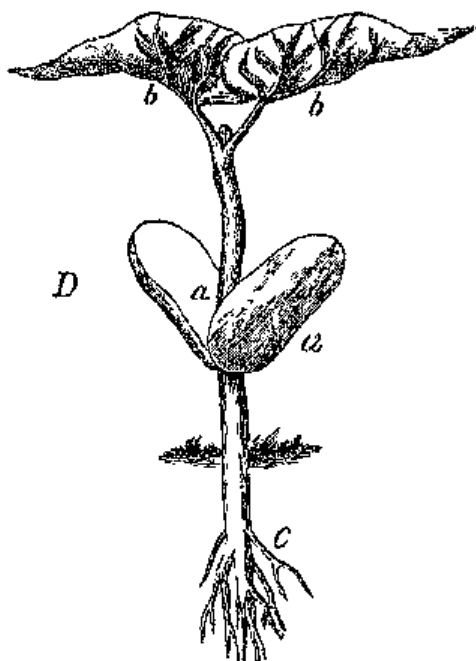


Рис. 126.

разошлись и тоже увеличились, но зато лопастн — ихъ называютъ *сѣмядолями* — сморщились и сократились въ объемъ: питательныя вещества въ нихъ пошли на увеличеніе зародыша. Оказывается, что во всѣхъ сѣменахъ мы находимъ одну (ячмень, кукуруза, рожь, овесъ) или двѣ (горохъ, орѣхъ, слива, желудь) сѣмядоли, наполненныя крахмаломъ, бѣлкомъ, сахаромъ и жиромъ. Всѣ эти четыре составныхъ части всегда находятся въ сѣмядоляхъ, хотя относительныя ихъ количества въ различныхъ сѣменахъ

различны; такъ, напр., мы находимъ во многихъ сѣменахъ преобладаніе крахмала (рисъ, кукуруза) или жировъ (горчица, орѣхъ) или бѣлковъ (горохъ, чечевица). Сахара въ непроросшихъ сѣменахъ обыкновенно бываетъ очень мало. Если размачивать растертый ячмень въ теплой водѣ, то мы не замѣчаемъ особеннаго измѣненія вкуса воды, но если дать ячменю прорости и потомъ растереть высушенные проросшія зерна (солодъ) въ теплой водѣ, то вода получить ясно сладкій вкусъ. Значить, доказательство превращенія однихъ веществъ въ другія при проростаніи у насъ на лицо.

Когда изъ яйца уже появится животное или его личинка, какъ, напр., у насѣкомыхъ, что въ сущности одно и то же, этому живому существу для поддержанія жизни приходится питаться. Многія животныя питаются травой и вообще растительной пищей, другія же — хищныя должны питаться мясомъ другихъ животныхъ, которыя питаются опять-таки растеніями. Такимъ образомъ мы приходимъ къ тому, что, въ концѣ-концовъ, питаніе животныхъ зависитъ отъ растеній, и поэтому для насъ явится очень важнымъ выяснить, какимъ образомъ питается растеніе, и изъ небольшого сѣмени или еще меньшей споры вырастаетъ громадное дерево. Изучая питаніе растеній, мы видимъ, что нѣкоторыя изъ нихъ, какъ напримѣръ грибы, могутъ питаться только соками живыхъ существъ или же гниющими животными и растеніями. Шампиньонъ, растущій на навозѣ, и дифтеритный бациллъ въ горлѣ больного, въ сущности получаютъ уже готовую пищу, и ихъ питаніе можетъ быть уподоблено до известной степени питанію животныхъ. Есть и настоящія растенія, даже дающія очень красивые цвѣты, которые живутъ соками другихъ растеній: омела (*Viscum album*), повилица (*Cuscuta*), заразиха (*Orobanche*), различныя орхидеи, — всѣ они питаются соками растеній, на которыхъ живутъ. Правда, у нихъ есть цвѣты и стебли, но, за исключеніемъ омелы, напрасно бы стали

искалъ у нихъ листьевъ: ихъ нѣтъ совсѣмъ, а у омелы хотя и есть, но они напоминаютъ скорѣ блѣдножелтые кусочки кожи, чѣмъ ярко-зеленые листья обыкновенныхъ нашихъ растений. Питаніе такихъ растений - паразитовъ не занимаетъ насъ въ настоящую минуту, и мы обратимся къ настоящимъ зеленымъ растениямъ.

Если взять проросшія сѣмена какого-нибудь растенія, посадить ихъ въ землю и поливать, то чрезъ нѣкоторое время на солнечномъ свѣтѣ маленькіе блѣдные листья проростковъ нозленіюгъ, и растеніе мало-по-малу начнетъ увеличиваться въ вѣсѣ; при этомъ подъ вѣсомъ мы всегда будемъ подразумѣвать вѣсъ *сухого* вещества растенія, чтобы не было никакихъ сомнѣній относительно присутствія въ немъ той воды, которой мы его поливали. Прямое взвѣшивание земли, въ которой росло растеніе, легко покажетъ намъ, что прибыль произошла *не на счетъ земли*, такъ какъ убыль вѣса земли совсѣмъ ничтожна въ сравненіи съ прибылью вѣса растенія. Слѣдовательно, приростъ могъ явиться только на счетъ убыли вѣса окружающаго воздуха. Опыты съ растениями въ изолированномъ пространствѣ показали, что въ воздухѣ, лишенномъ *углекислоты*, растенія въ вѣсѣ не увеличиваются. Съ другой стороны, цѣлый рядъ опытовъ и наблюденій показалъ, что присутствіе влаги, землистыхъ (зольныхъ) веществъ и углекислоты не вызываютъ увеличенія вѣса зеленого растенія, если оно не подвергается дѣйствію *солнечнаго свѣта*, даже если бы мы держали его въ достаточномъ теплѣ. Итакъ, у насъ, съ одной стороны, имѣется вода, зольныя вещества и углекислота, все продукты полного окисленія — съ одной стороны, а съ другой — получается тѣло растеній, способное при нагрѣваніи въ присутствіи кислорода воздуха окисляться и горѣть. Богѣе точное изученіе этого процесса показываетъ намъ, что этимъ дѣло не ограничивается, такъ какъ зеленныя растенія, пользуясь для питанія углекислотой, выделяютъ на солнечномъ свѣтѣ кислородъ. Убѣдиться въ этомъ чрезвы-

чайно легко: стоитъ только въ свѣжую воду погрузить зеленые листья какого-нибудь растенія (совѣтуютъ брать водной крессъ или лавръ) и накрыть ихъ опрокинутымъ сосудомъ съ водою (рис. 127); выставивъ все это на солнце, мы увидимъ, какъ на листьяхъ появляются блестящiе пузырьки, увеличиваются мало-по-малу и поднимаются, наконецъ, вверхъ; изслѣдуя собравшiйся газъ тлѣющей лучинкой, убѣждаемся, что это кислородъ. Это явленiе изучалось не оди́нъ разъ качественно и количественно многими учеными при самыхъ разнообразныхъ условiяхъ освѣщенiя. Въ результатѣ оказалось, что *объемъ выдѣленнаго кислорода*



Рис. 127.

*приблизительно равенъ* объему поглощенной *углекислоты*. Это очень важный выводъ, такъ какъ при сгоранiи угля въ кислородѣ объемъ полученной углекислоты равенъ взятому объему кислорода. Значить, у насъ въ *зеленыхъ частяхъ* растенiя, богатыхъ *хлорофилломъ* (такъ называется желѣзо содержащее вещество, отъ котораго зависитъ зеленый цвѣтъ растенiй), происходитъ какъ бы расщепленiе углекислоты на уголь и кислородъ. Уголь вступаетъ въ химическое взаимодействiе съ другими веществами въ растенiи, образуя сначала крахмалъ, а потомъ — и другiя вещества, какъ-то жиры, бѣлки и т. д., а кислородъ выдѣляется. Этотъ процессъ, обыкновенно названный *ассимиляцией* (усвоенiемъ) *углерода* растенiями, можетъ происходить *только* въ зеленыхъ частяхъ растенiя, при чемъ для его правильного хода необходимо присутствiе извѣстныхъ солей, а именно солей кальцiя, калия, магнiя, желѣза, сѣрной, азотной и фосфорной кислотъ. Количество этихъ солей ничтожно мало по сравненiю съ количествомъ получаемого крахмала, такъ что невольно напрашивается сравненiе ассимиляцiи въ присутствiи этихъ солей съ разложе-

кислоты на уголь и кислородъ. Уголь вступаетъ въ химическое взаимодействiе съ другими веществами въ растенiи, образуя сначала крахмалъ, а потомъ — и другiя вещества, какъ-то жиры, бѣлки и т. д., а кислородъ выдѣляется. Этотъ процессъ, обыкновенно названный *ассимиляцией* (усвоенiемъ) *углерода* растенiями, можетъ происходить *только* въ зеленыхъ частяхъ растенiя, при чемъ для его правильного хода необходимо присутствiе извѣстныхъ солей, а именно солей кальцiя, калия, магнiя, желѣза, сѣрной, азотной и фосфорной кислотъ. Количество этихъ солей ничтожно мало по сравненiю съ количествомъ получаемого крахмала, такъ что невольно напрашивается сравненiе ассимиляцiи въ присутствiи этихъ солей съ разложе-

иамъ бертолетовой соли въ присутствіи перекиси марганца. Такъ какъ и здѣсь большее количество солей вызываетъ болѣе быстрый и правильный ходъ процесса ассимиляціи <sup>1)</sup>, то возможно предположить, что соли эти дѣйствуютъ какъ катализаторы. Это явленіе ассимиляціи углерода представляетъ громадный интересъ съ точки зрѣнія закона сохранения энергіи: вѣдь 12 граммовъ угля, сгорая въ кислородѣ, даютъ 96 калорій; значитъ, чтобы произвести распаденіе углекислоты на уголь и кислородъ, надо вернуть и углю и кислороду потерянную ими при взаимномъ соединеніи энергію. Источники такого колоссальнаго количества энергіи приходится искать гдѣ-нибудь внѣ растенія, потому что наши представленія о нестойкихъ и легко переходящихъ въ другія вещества бѣлакахъ и крахмалѣ или даже хлорофиллѣ не въ состояніи объяснить переходъ этого громаднаго количества энергіи. Эта внѣшняя энергія можетъ поступать только отъ солнца (или отъ другихъ сильныхъ источниковъ свѣта), какъ показываетъ вся обстановка процесса. Въ самомъ дѣлѣ, солнце представляетъ собой громадный раскаленный шаръ; химическіе процессы, происходящіе на его поверхности, превосходятъ все, что мы можемъ представить себѣ на землѣ; какое-нибудь пыточное пятно, представляющее едва замѣтную часть солнечнаго диска, на самомъ дѣлѣ оказывается равнымъ половинѣ всей поверхности земного шара; взрывы на солнцѣ поднимаютъ продукты изверженія, главнымъ образомъ водородъ, на сотни тысячъ километровъ, поэтому не удивительно, что на нашу землю чрезъ громадное безвоздушное пространство отъ солнца идутъ цѣлые потоки лучистой энергіи, и эта энергія отчасти поглощается листомъ. Мы говоримъ „отчасти“ потому, что далеко не всѣ лучи задерживаются хлорофилломъ, какъ показываетъ спектральное изслѣдованіе луча, прошед-

---

<sup>1)</sup> На этомъ основано употребленіе искусственныхъ удобреній, какъ то сульфосфата, гипса, селитры, томасова шлака и др.).



наго чрезъ растворъ хлорофилла. Эта поглощенная лучистая энергія превращается при расщепленіи углекислоты въ потенциальную энергію угля и кислорода, изъ которыхъ послѣдній и выдѣляется въ свободномъ видѣ изъ зеленыхъ частей растений. Другая часть этой поглощенной энергіи остается въ растеніи въ видѣ потенциальной энергіи и можетъ быть снова переведена въ дѣйствующее кинетическое состояніе при горѣніи образовавшагося тѣла растеній. Можно привести очень наглядное доказательство этого поглощенія солнечной лучистой энергіи зелеными листьями. Въ самомъ дѣлѣ, подъ зеленымъ зонтомъ жарко, а подъ зелеными листьями свѣжо. Зонтъ поглощаетъ часть лучистой энергіи солнца, при чемъ эта энергія переходитъ въ тепловую, дѣйствіе которой и ощущается нами; въ листьяхъ же эта лучистая энергія переходитъ въ скрытое потенциальное состояніе въ видѣ запаса *химической* энергіи, которая не оказываетъ замѣтнаго вліянія на наши органы осязанія (температуры). Такимъ образомъ, въ тѣлѣ растенія накапливаются запасы энергіи въ различныхъ продуктахъ жизнедѣятельности растеній: крахмалѣ, сахарѣ, жирахъ и бѣлкахъ. Попятное дѣло, эти вещества, попадая въ тѣло животныхъ и подвергаясь тамъ различнымъ превращеніямъ, могутъ служить источникомъ энергіи, безъ затраты которой невозможно цѣлый рядъ процессовъ, совершающихся въ живыхъ организмахъ. Достаточно указать на различные движенія, которыя сводятся къ затратѣ механической энергіи или работы. Мы видимъ, какъ на нашихъ глазахъ ху-дѣютъ животныя и люди, которымъ приходится совершать продолжительную работу, не подкрѣпляя себя пищей. Кромѣ этой затраты живому животному организму приходится тратить массу энергіи въ видѣ тепла: поверхность нашего тѣла постоянно теряетъ тепло; испареніе воды чрезъ кожу и чрезъ легкія тоже требуетъ значительной траты теплоты, а слѣдовательно необходимой для нея энергіи. Мы говоримъ о человѣческомъ тѣлѣ, такъ какъ въ этомъ слу

чай наиболѣе хорошо изучены эти процессы, но не надо забывать, что есть и такіа животныя, у которыхъ, какъ мы говоримъ, кровь холодная, т.-е. температура тѣла мѣняется въ зависимости отъ температуры окружающей среды; оказывается, что даже у этихъ животныхъ протекать всегда значительныя тепловыя затраты; въ самомъ дѣлѣ, если опустить термометръ въ кучу пчелъ, то онъ показываетъ 37 — 38° и даже выше; значить, и здѣсь развивается тепло, но оно быстро теряется, благодаря особенному устройству тѣла такихъ животныхъ съ перемѣнной температурой тѣла. Понятное дѣло, что изученіе фізіологическихъ процессовъ въ человѣческомъ тѣлѣ должно было рѣшиться въ числѣ другихъ вопросовъ и вопросъ о томъ, сколько пищи необходимо человѣку для поддержанія равновѣсія его тѣла, т.-е. другими словами, какое количество потенциальной энергіи въ видѣ пищи должно быть введено въ человѣческій организмъ, чтобы уравнивать затраты энергіи на всѣ перечисленные процессы<sup>1)</sup>. Этимъ вопросомъ о „пищевой нормѣ“ занимались многіе изслѣдователи, и въ настоящее время отвѣтъ на него не представляетъ особыхъ затрудненій. По расчету Ранке для человѣка вѣсомъ въ 70 килограммовъ (средній вѣсъ взрослого человѣка) въ одни сутки надо: 100 граммовъ бѣлковъ, 100 гр. жировъ и 240

1) Очевидно, что въ вопросѣ о „пищевой суточной нормѣ“ главное вниманіе надо обращать на балансъ энергіи, а не матеріала, входящаго въ составъ пищи—съ одной стороны, и нашего тѣла—съ другой. Въ самомъ дѣлѣ, если принять пищевую норму Ранке, то окажется, что для человѣка вѣсомъ въ 70 килограммовъ необходимо въ годъ 160,9 килограммовъ всякой пищи, не считая воды, которой ему придется ввести въ организмъ не менѣе 700 килограммовъ въ годъ. Примемъ за среднюю продолжительность жизни человѣка 65 лѣтъ и будемъ считать, что нормальнаго вѣса (70 килогр.), онъ достигаетъ въ 25 годамъ. Тогда за все время жизни отъ 25 до 65 лѣтъ придется провести черезъ тѣло 6436 килограм. разной пищи и самое малое 28000 килогр. воды. Сопоставляя эти цифры съ 70 килограммами вѣса тѣла, мы сразу согласимся, что перѣбъ здѣсь долженъ быть отданъ балансу энергіи, а не матеріа.

гр. крахмала. Изъ этихъ данныхъ можно высчитать, *какое количество энергии*, положимъ въ тепловыхъ единицахъ, тратится въ одинъ сутки. Для этого надо знать, что дѣлается съ разнаго рода пищей въ организмѣ. Для простоты положимъ, и это будетъ довольно близко къ истинѣ, что крахмалъ и жиръ (въ составъ ихъ входитъ углеродъ, водородъ и кислородъ) въ концѣ-концовъ превращаются въ углекислоту и воду, а бѣлокъ (углеродъ, водородъ, кислородъ, азотъ, сѣра и отчасти фосфоръ) превращается въ мочевины (составъ углеродъ, азотъ, кислородъ, водородъ), при чемъ изъ 300 граммовъ бѣлка получается всего около 100 гр. мочевины <sup>1)</sup>. Пользуясь закономъ сохраненія энергiи въ приложенiи къ химическимъ превращенiямъ, мы можемъ расчитать, сколько тепла выдѣляетъ бѣлокъ, превращаясь въ мочевины. Если сжечь 1 граммъ бѣлка въ кислородѣ, то получится вода, углекислота, азотъ и немного сѣрной кислоты, причемъ выдѣлится 4,998 калорiй <sup>2)</sup>; при сжиганiи одного грамма мочевины, которая превратится при этомъ въ углекислоту, воду, свободный азотъ, развивается 2,206 калорiй. Значитъ, бѣлокъ, превращаясь въ мочевины, выдѣлитъ  $4,998 - \frac{2,201}{3} = 4,363$  калорiи на каждый граммъ.

Теплота превращенiя одного грамма жира въ углекислоту и воду равна 9,667 кал., и та же величина для крахмала 3,936. Умноживъ (напечатанныя курсивомъ) найденныя числа соотвѣтственно на 100, 100 и 240 и сложивъ полученныя произведенiя, получимъ 2272 калорiи, т.-е. приблизительно около *миллиона килограммометровъ*, такъ что въ гѣлѣ взрослого человѣка каждую секунду тратится около 11,5 килограммометровъ, считая въ этомъ числѣ нагрѣванiе вводимой пищи до температуры человѣческаго

<sup>1)</sup> Мочевина является главнымъ продуктомъ, въ подѣ котораго выдѣляется изъ нашего тѣла азотъ. Взрослый человѣкъ выдѣляетъ ежедневно около 30 граммовъ мочевины.

<sup>2)</sup> Эти и слѣдующiя данныя взяты изъ опытовъ Франкланда.

тѣла, нагрѣваніе вдыхаемаго воздуха, испареніе воды съ поверхности кожи и изъ легкихъ, работу кровообращенія и дыханія и т. д. При этомъ надо замѣтить, что работа сердца, которому приходится проталкивать густую и вязкую жидкость — кровь чрезъ цѣлую сѣть тончайшихъ капиллярныхъ сосудовъ, почти нацѣло переходитъ въ теплоту. Точно такъ же, когда мы совершаемъ какую-нибудь механическую работу или просто дышимъ, то часть затрачиваемой при этомъ энергіи переходитъ въ самомъ тѣлѣ въ теплоту, вслѣдствіе тренія суставныхъ поверхностей, которыя хотя и покрыты гладкимъ хрящемъ и смачиваются суставной жидкостью, но, тѣмъ не менѣе, въ довольно значительной мѣрѣ препятствуютъ свободному движенію. Понятное дѣло, что въ случаѣ усиленной работы или слишкомъ сильнаго внѣшняго охлажденія пищевыя нормы измѣняются. Если мы сравнимъ теплоты горѣнія жира и крахмала, то увидимъ, что жиръ, превращаясь какимъ бы то ни было способомъ въ углекислоту и воду, развиваетъ наибольшее количество единицъ тепла. Поэтому для насъ станетъ понятнымъ, откуда является потребность въ жирѣ, которой отличаются народы полярныхъ странъ и которую приходится испытывать и жителямъ среднихъ широтъ, попадающихъ въ очень холодныя мѣста земнаго шара. Для примѣра достаточно сослаться на Фр. Нансена, который безъ вреда для здоровья употреблялъ во время своего путешествія къ сѣверному полюсу пѣшкомъ ужасающія на первый взглядъ количества животнаго жира.

Разъ рѣчь идетъ о работѣ, производимой человекомъ, то надо непременно отмѣтить парадоксальное на первый взглядъ явленіе; мы всегда говорили, что для произведенія работы необходимо затрачивать тепло, а между тѣмъ каждый день мы наблюдаемъ совершенно обратное: во время энергичной работы намъ теплѣе, чѣмъ въ спокойномъ состояніи <sup>1)</sup>. Въ са-

<sup>1)</sup> Количество углекислоты, выделяемой взрослымъ человекомъ въ теченіе сутокъ, такое же, какое получается отъ сжиганія 280 граммовъ угля.

момъ дѣлѣ въ это время въ нашемъ тѣлѣ выделяется больше тепла, но это увеличеніе количества тепла является слѣдствіемъ большаго тренія при болѣе быстромъ дѣйствіи сердца и результатомъ болѣе энергичнаго дыханія, при которомъ окислительные процессы, развивающіе тепло, идутъ быстрѣе и т. д. Словомъ сказать, дѣло здѣсь въ томъ, что побочные процессы обнаруживаются тотчасъ же, а большая въ дѣйствительности трата запаса потенциальной энергіи сказывается только спустя нѣкоторое время большей потребностью въ пищѣ. Поэтому-то въ мятель заблудившіеся люди погибаютъ отъ холода, если они останавливаются, только выбившись изъ силъ, и остаются по большей части живыми въ томъ случаѣ, когда они сразу же рѣшаются не двигаться дальше: тогда неизрасходованный еще запасъ потенциальной энергіи будетъ въ состояніи течение большаго промежутка времени пополнять трату тепла, вызываемую сильнымъ вѣвншимъ охлажденіемъ. Съ другой стороны, надо коснуться вопроса о роли нервовъ при мышечной работѣ. Дѣло здѣсь, повидному, заключается въ томъ, что бѣлки, изъ которыхъ состоятъ наше тѣло, представляютъ, какъ уже было сказано раньше, весьма неустойчивыя тѣла. Благодаря этому обстоятельству, каждый мускулъ представляетъ какъ бы запасъ энергіи, который ожидаетъ только малѣйшаго нарушенія равновѣсія въ одномъ мѣстѣ, чтобы вся система начала измѣняться. Разъ это нарушение равновѣсія произошло, и мускулъ совершилъ нѣкоторую работу, то онъ утомляется, и только благодаря кровообращенію къ нему подходит цѣлый рядъ новыхъ веществъ, запасы потенциальной энергіи которыхъ снова дѣлаютъ его способнымъ къ дальнѣйшей работѣ.

Мы еще не коснулись вопроса о томъ, какимъ превращеніямъ подвергается азотъ бѣлковыхъ веществъ. Какъ уже

Если бы этотъ уголь сжечь, то получилось бы то же почти количество тепла, которое развивается въ человеческомъ тѣлѣ; вслѣдствіе химическихъ превращеній пищи.

было сказано, при жизни животных онъ выдѣляется въ видѣ мочевины или ея болѣе сложнаго производнаго — мочевоѣ кислоты. Оба эти вещества легко подвергаются броженію подѣ вліяніемъ низшихъ микроорганизмовъ, причемъ даютъ амміакъ и углекислоту. Когда животное (или растение) погибаетъ, то азотъ его бѣлковыхъ веществъ выдѣляется (тоже подѣ вліяніемъ микроорганизмовъ) въ видѣ амміака или свободнаго азота. Такимъ образомъ, изъ вполне окисленныхъ соединеній азота — солей азотной кислоты, попадающихъ въ тѣло растеній, — въ результатѣ жизни животнаго появляются продукты возстановленія. Оказывается, что эти продукты — азотъ и амміакъ — превращаются въ почвѣ въ соли азотной кислоты подѣ вліяніемъ дѣятельности особыхъ бактерій, живущихъ на корняхъ бобовыхъ растеній. Слѣдовательно, въ результатѣ *полнаго* превращенія азотистыхъ выдѣленій животныхъ окажутся углекислота и соли азотной кислоты, т.-е. какъ разъ тѣ, вполне окисленные продукты, изъ которыхъ растеніе заимствуетъ углеродъ и азотъ для синтеза своихъ бѣлковъ. Этотъ замѣчательный *круговоротъ азота* интересенъ въ томъ отношеніи, что въ немъ видную роль играютъ низшіе организмы. Энергетическія отношенія здѣсь очень сложны и, хотя они въ концѣ-концовъ и сводятся къ закону сохраненія энергіи, но мы не будемъ подробно разбирать ихъ, ограничиваясь тѣмъ, что уже было сказано о превращеніяхъ бѣлковъ въ человѣческомъ тѣлѣ.

Изъ этого краткаго очерка нѣкоторыхъ фізіологическихъ явленій, происходящихъ въ тѣлѣ животныхъ и растеній, можно все-таки видѣть, что законъ сохраненія энергіи прилагается и здѣсь во всей своей полнотѣ. Въ самомъ дѣлѣ, растеніе сначала развивается насчетъ запаса матеріи и энергіи, заложенныхъ въ его сѣменахъ; затѣмъ роль его (мы говоримъ о растеніяхъ съ *зелеными* листьями) сводится къ тому, что въ немъ происходитъ расщепленіе вполне окисленныхъ продуктовъ съ выдѣленіемъ свободнаго кислорода

и образованіе новыхъ веществъ, обладающихъ большимъ запасомъ энергіи. Это превращеніе совершается исчетъ лучистой энергіи солнечныхъ лучей. Образовавшіяся вещества подвергаются въ тѣлѣ животныхъ многимъ превращеніямъ, причемъ въ результатѣ получается избытокъ энергіи, который и покрываетъ расходъ ея при различныхъ физиологическихъ процессахъ. Когда же животное или растеніе погибаетъ, то въ результатѣ дѣятельности цѣлаго ряда организмовъ низшаго порядка получаютъ ся въ исполнѣ окисленные соединенія, изъ которыхъ при посредствѣ солнечной энергіи строится снова тѣло растений.

Не надо однако же думать, что всегда, послѣ прекращенія жизни животнаго или растенія, тѣла ихъ превращаются въ продукты полнаго окисленія тѣхъ элементовъ, изъ которыхъ они состоятъ. Въ природѣ могутъ встрѣтиться такія условія, когда это окисленіе не доходитъ до конца, вслѣдствіе недостатка кислорода. Въ самомъ дѣлѣ, когда дерево, его сучья или листья падаютъ на землю, то въ концѣ-концовъ все это сгниваетъ; углеродъ древесины (о бѣлковыхъ веществахъ мы не говоримъ, такъ какъ они разрушаются чрезвычайно быстро) превращается въ угольную кислоту, водородъ — въ воду, а остальные элементы, окисляясь, даютъ зольныя вещества и попадаютъ въ почву. Иное дѣло будетъ, если растеніе попадетъ въ воду: бѣлковыя вещества и здѣсь быстро разрушатся,<sup>1)</sup> но для полнаго окисленія древесины въ водѣ не хватитъ растворимаго кислорода, и если, подъ вліяніемъ тѣхъ или другихъ причинъ, начнется окисленіе углерода и водорода, то оно можетъ происходить только на счетъ кислорода, содержащагося въ древесинѣ. А его тамъ довольно: на 100 частей древесины приходится 49,38 частей кислорода, 44,44 части углерода и 6,17 частей водорода.

<sup>1)</sup> При этомъ часть фосфора, входящаго въ составъ бѣлковъ, превращается въ фосфористый водородъ—газъ, который воспламеняется, соприкасаясь съ воздухомъ. Такъ, по всему вѣроятію, происходить блуждающіе огоньки, видимые по временамъ на болотахъ и кладбищахъ.





части лапонирует процессы, происходящіе при сильномъ нагрѣваніи дерева безъ доступа воздуха; тамъ тоже образуются углеродистые водороды, древесный спиртъ, уксусная кислота, метанъ и уголь. Прямые опыты показываютъ, что процессы *обугливания* дерева идутъ очень быстро даже при очень низкой температурѣ, если дерево погружено въ воду и находится подъ сильнымъ давленіемъ; указанныя условія можно осуществить, запаивая кусокъ дерева въ трубку съ водой и нагрѣвая ее значительно выше температуры кипѣнія воды. Въ природѣ же это давленіе можетъ явиться въ томъ случаѣ, когда на одинъ слой погибшихъ растений накладывается другой, при чемъ еще на эти слои налегаютъ глина, песокъ и другіе осадки, наносимые водой. Подобнаго рода условія наблюдаются на любомъ торфяномъ болотѣ, гдѣ каждый годъ сверхъ погибшаго мохового слоя накладывается новый. Такимъ образомъ получается все большая и большая толща мховъ; къ этимъ слоямъ присоединяются стволы деревьевъ, растущихъ на болотахъ и падающихъ въ воду за неимѣніемъ прочной опоры для корней, какъ только стволъ и сучья сдѣлаются довольно тяжелыми. Чѣмъ больше дѣлается давленіе, тѣмъ быстрѣе идетъ потеря кислорода и обогащеніе остатковъ дерева или мховъ углеродомъ. Сначала мы ясно отличаемъ перепутанную массу частей растений, хотя и сильно побурѣвшую уже (торфъ), потомъ только на кускахъ дерева видна еще структура (лигнитъ), далѣе все меньше и меньше дѣлается разстояніе между отдѣльными растеніями и ихъ частями, и мы получимъ бурый уголь, боггедъ, каменный уголь и, наконецъ, антрацитъ, почти нацѣло (кромѣ золы, конечно), состоящій изъ углерода, водорода и кислорода въ хорошихъ сортахъ антрацита ничтожные слѣды. Такимъ путемъ и образовался каменный уголь, залежи котораго встрѣчаются во многихъ мѣстахъ земного шара. Можетъ показаться необычайнымъ, что могло быть такое множество растений, но торфъ, вѣдь, образуется на нашихъ глазахъ, въ лигнитѣ видны ясно сосуды, по ко-

торымъ въ живомъ растеніи передвигалась вода и различные соки, въ каменномъ углѣ, наконецъ, паходимъ окаменѣвшіе стволы, корни, листья (рис. 129, и „пруды“ съ сѣменами различныхъ деревьевъ: чешуйчатыхъ лепидодендроновъ, оригинально исчерченныхъ сигилларій, каламитовъ, похожихъ на тростники, и гигантскихъ древоводныхъ папоротниковъ, въ родѣ тѣхъ, которые и до сихъ поръ растутъ въ горячей и влажной атмосферѣ лѣсовъ тропическихъ странъ. Въ тѣ отдаленныя отъ насъ за сотни тысячъ лѣтъ времена климатъ земного шара былъ, по всему вѣроятію, въ общемъ много теплѣе, а атмосфера — богаче влагой и углекислотою, и поэтому неудивительно, что въ тогдѣшнихъ лѣсахъ могли произрастать повсюду такіа растенія (рис. 130). Процессы превращенія обыкновеннаго каменнаго угля въ антрацитъ продолжаютъ и теперь, такъ что въ любой глубоко лежащей угольной копи происходитъ,

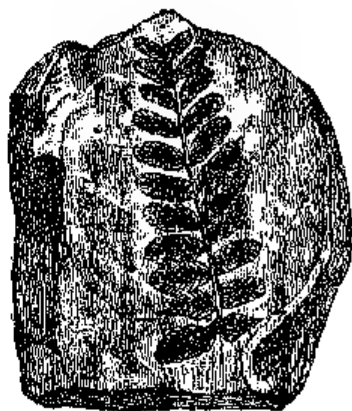


Рис 129.

между прочимъ, выдѣленіе углеводородовъ, главнымъ образомъ метана, которое часто бываетъ причиной ужаснѣйшихъ несчастій, разъ копи неправильно вентилируются.

На ряду съ такимъ образованіемъ каменнаго угля изъ остатковъ погибшихъ деревьевъ происходитъ и образованіе другого драгоценнаго вещества, а именно нефти. Давно уже было высказано Энглеромъ предположеніе, что нефть образовалась изъ остатковъ рыбъ совершенно такимъ же образомъ, какъ уголь — изъ остатковъ растеній. Число фактовъ, говорящихъ въ пользу этого предположенія, очень велико, такъ что если и не вся нефть, то во всякомъ случаѣ пѣкоторыя ея мѣстоимокженія образовались именно такимъ



Рис. 130.

образомъ <sup>1)</sup>. Процессъ образованія углеродистыхъ водородовъ изъ тѣла рыбъ можетъ быть сведенъ къ медленной перегонкѣ ихъ жира — вещества, медленно поддающагося гниенію. Что могло быть такое множество погибшихъ рыбъ, намъ не трудно согласиться, такъ какъ всѣмъ хорошо извѣстно, что цѣлыя горныя хребты бываютъ часто покрыты остатками раковинъ морскихъ животныхъ; значить, въ отдаленія отъ насъ времена, благодаря меньшему разнообразію видовъ животныхъ, могло происходить прямо невѣроятное ихъ размноженіе.

Когда мы пользуемся каменнымъ углемъ или нефтью для отопленія паровыхъ котловъ, то у насъ выигрываются громадныя количества работы. Мы уже видѣли, что растенія, а, слѣдовательно, и животныя получаютъ необходимыя для ихъ жизни запасы энергіи отъ солнца въ видѣ преобразованной въ потенциальную химическую энергію лучистой энергіи. Поэтому, признавая справедливымъ во всѣхъ случаяхъ законъ сохраненія энергіи, мы тѣмъ самымъ должны признать, что при утилизаціи энергіи каменнаго угля или нефти мы пользуемся частью лучистой солнечной энергіи, оставшейся въ этихъ продуктахъ. Если принять во вниманіе, что и другіе источники энергіи, какъ-то: вѣтеръ, рѣки, водопады, морскія теченія и т. д. тоже несутъ въ себѣ часть солнечной энергіи, полученной ими въ видѣ тепла, то придется согласиться, что большинство измѣненій, совершающихся на земной поверхности, вызываются солнцемъ. Сло-

<sup>1)</sup> Существуетъ еще предположеніе, высказанное впервые Гумбольтомъ, что нефть образовалась въ нѣдрахъ земли отъ дѣйствія воды на расплавленные углеродистые металлы. Это предположеніе очень поддерживается такимъ знатокомъ нефти, какъ Д. Н. Менделѣевъ. Что при дѣйствіи воды на расплавленные углеродистые металлы можетъ получиться нефть, можно показать такимъ образомъ: если обыкновенные обойные гвозди, содержащіе углеродистое желѣзо, облить разбавленной соляной кислотой, то легко замѣтить, то лѣдѣющійся водородъ имѣетъ слабый запахъ керосина. Здѣсь кислота при обыкновенной температурѣ замѣняетъ воду при очень высокой

вомъ: „солнечный лучъ журчитъ въ ручьѣ, воетъ и свиститъ въ вѣтрѣ, цвѣтетъ и благоухаетъ въ розѣ, поетъ въ соловьѣ, блистаетъ въ молніи, гремитъ въ громѣ, и проявляетъ себя еще въ тысячахъ другихъ образовъ во всемъ безконечномъ разнообразіи явленій природы“<sup>1)</sup>.

## ГЛАВА X.

### Разсѣяніе энергіи.

Въ предыдущихъ главахъ мы разобрали довольно подробно превращенія энергіи при тепловыхъ, механическихъ, магнитныхъ, электрическихъ, свѣтовыхъ и физиологическихъ процессахъ, и вездѣ получалась одна и та же картина: энергія, какъ Прогей, не прекращая своего существованія, только мѣняла свой видъ, и каждой затратѣ какого-нибудь количества одного вида энергіи сейчасъ же отвѣчала равнозначная ей (эквивалентная) прибыль другой. Такимъ образомъ, ни разрушить ни создать энергіи во всѣхъ этихъ превращеніяхъ мы не могли. Однако же дѣло принимаетъ совершенно иной оборотъ, разъ только рѣчь заходитъ объ *использованіи* опредѣленнаго количества какого бы то ни было вида энергіи. Опытъ многихъ лѣтъ и ежедневныя наблюденія показываютъ, что намъ никогда не удастся перевести въ *полезную работу* весь запасъ энергіи цѣликомъ. Возьмемъ примѣръ, проще котораго, кажется, и не можетъ быть: положимъ, мы обладаемъ запасомъ энергіи, который можетъ поднять одинъ килограммъ на высоту одного метра, при чемъ приходится пользоваться блокомъ. Оказывается, что намъ удастся поднять этотъ грузъ на высоту *меньше* одного метра, потому что при этомъ поднятіи придется затратить нѣкоторое количество работы на преодоленіе тренія веревки и оси блока.

<sup>1)</sup> Саона К. Фламариона изъ его „La fin du monde“.

Такая вода не только вредна, но и опасна, так как, попадая в организм, она вызывает различные заболевания, особенно желудочно-кишечного тракта. Поэтому, употребляя такую воду, необходимо соблюдать осторожность и не пить ее в больших количествах. Кроме того, такая вода может вызвать головную боль, тошноту и другие неприятные симптомы.

а

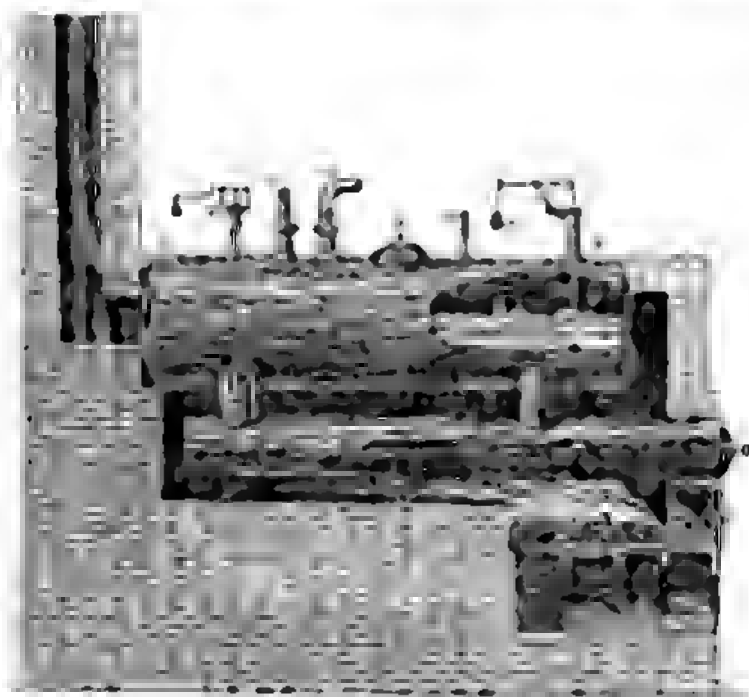


Рис. 131.

Вот почему так важно следить за качеством воды, которую мы пьем. Если вода нечистая, то она может вызвать различные заболевания, особенно желудочно-кишечного тракта. Поэтому, употребляя такую воду, необходимо соблюдать осторожность и не пить ее в больших количествах. Кроме того, такая вода может вызвать головную боль, тошноту и другие неприятные симптомы.

въ чистомъ кислородѣ въ совершенно замкнутой стальной бомбѣ, погруженной въ воду (какъ это дѣлаютъ при опредѣленіи теплоты горѣнія различныхъ тѣлъ), то и тогда не все тепло будетъ поглощаться одной только водой: какъ только температура воды станетъ на ничтожную хотя бы величину выше температуры окружающаго воздуха, такъ сейчасъ же начнетъ итѣть потеря тепла чрезъ лучеиспусканіе и теплопроводность, т. е. кромѣ воды будетъ нагрѣваться и окружающій воздухъ, какія бы предосторожности мы ни предпринимали <sup>1)</sup>. Поэтому понятно, что если мы будемъ превращать теплоту химическую энергію въ тепловую, тепловую—въ работу, а работу—опять въ тепло и т. д., то у насъ будетъ получаться все меньшее и меньшее количество полезной работы, благодаря тренію, теплопроводности и лучеиспусканію. Но вѣдь и треніе и обѣ эти потери на нагрѣваніе окружающей среды должны дѣлаться по мѣрѣ усовершенствованія работающихъ механизмовъ и паровыхъ котловъ все меньше и меньше, какъ это мы и замѣчаемъ въ настоящее время, когда обыкновенный котелъ замѣненъ былъ трубчатымъ, трубчатый—водотрубнымъ, или когда простую машину Ньюкомена черезъ цѣлый рядъ промежуточныхъ усовершенствованій замѣнили въ настоящее время компаундъ-машинами двойного, тройного, даже четвертого расширенія. Разъ мы допустимъ возможность такого улучшенія въ дѣлѣ утилизаціи тепла и превращенія его въ полезную работу, мы можемъ представить себѣ машину, въ которой итъ потерь на треніе, лучеиспусканіе и теплопроводность. Понятное дѣло, что такая машина будетъ работать до тѣхъ поръ, пока въ холодильникъ вода не нагрѣется до температуры парового котла и такимъ образомъ прекратится сгущеніе (или сжатіе) пара, и онъ не въ со-

---

<sup>1)</sup> Отсюда понятно, что во всѣхъ опредѣленіяхъ теплоты горѣнія *действительное нагрѣваніе* воды опредѣляется не простымъ опытомъ, а вычисляется изъ опытныхъ данныхъ довольно сложнымъ путемъ.

стоянии будетъ производить уже работу. Сдѣлаемъ еще предположеніе, а именно, что у насъ нагреватель можетъ отдавать сколько угодно тепла, не охлаждаясь, а холодильникъ принимать сколько угодно тепла, не повышая температуры. Это представить себѣ не такъ ужъ трудно: такимъ нагревателемъ можетъ быть огромное количество расплавленного металла, а холодильникомъ—огромное количество льда съ водой. Понятное дѣло, охлажденіе влечетъ за собой отвердѣваніе металла, а нагреваніе — таяніе льда, причемъ въ обоихъ случаяхъ температура не мѣняется.

Остается придумать механизмъ, который бы не охлаждался, соприкасаясь съ охладителемъ и не нагревался, будучи поставленъ на нагреватель, такъ какъ оба эти процесса тоже влечутъ за собой бесполезную трату энергіи. Геніальный Сади Карно придумалъ такой (конечно, возмож-

ный только въ идеалѣ) механизмъ: онъ беретъ газъ въ непроводящемъ цилиндрѣ съ проводящимъ дномъ, замкнутый непроводящимъ поршнемъ. На рисункѣ 132 непроводящія части заштрихованы, а проводящія означены тонкой чертой. А — нагреватель, С — холодильникъ, температуры которыхъ очень близки другъ къ другу, В — скамейка изъ тѣла, совершенно непроводящаго тепла. Конечно предполагается, что поршень въ цилиндрѣ движется безъ тренія. Карно ставитъ цилиндръ D на В и сжимаетъ газъ грузами. При этомъ газъ оказывается окруженнымъ со всѣхъ сторонъ непроводящими тепло стѣнками: сверху и по бокамъ — стѣнки D, снизу — крышка скамейки В. Переданная газу работа сжатія обнаруживается въ видѣ тепла, а такъ какъ

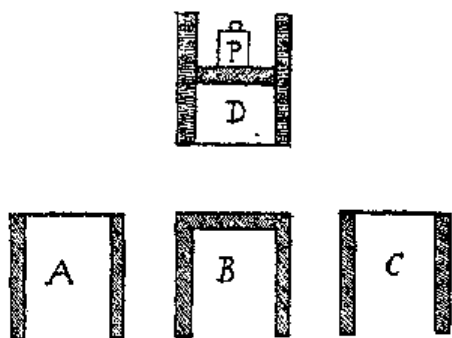


Рис. 132.



это тепло не может удалиться, то температура газа повышается и, наконец, доходить до температуры нагревателя. Тогда ставят D на A и начинают очень медленно снимать грузы. Газъ расширяется, совершаетъ работу (поднятіе груза на высоту), теряя тепло, но охладиться не можетъ, потому что нагреватель отдастъ ему тепло чрезъ проводящую крышку нагревателя A, не охлаждаясь самъ. Взятое тепло равно, по закону сохраненія энергіи, полученной работѣ. Затѣмъ Карно снимаетъ цилиндры съ A, ставитъ на B и продолжаетъ снимать грузы. Замкнутый непроводящими стѣнками газъ производитъ работу, а такъ какъ производеніе работы влечетъ за собой потерю другого вида энергіи, то онъ охлаждается. Когда газъ охладится до температуры холодильника, цилиндръ D ставятъ на C и начинаютъ накладывать грузы. Грузы опускаются, но газъ нагреваться не можетъ, и эта работа передается въ видѣ тепла холодильнику чрезъ проводящее дно D и крышку C. Потомъ ставимъ снова D на B, продолжаемъ сжимать, накладывая грузы, до тѣхъ поръ, пока газъ не приметъ температуры нагревателя и не займетъ того объема, какой былъ въ началѣ опыта. Значитъ, газъ какой былъ, такимъ и остался: его объемъ, давленіе и температура прежнія; значитъ, и запасъ энергіи въ немъ не измѣнился. При этомъ *круговой процессъ* мы взяли нѣкоторое количество тепла отъ нагревателя, отдали часть его холодильнику и получили нѣкоторую работу, при чемъ рабочій механизмъ и все вообще остались въ прежнемъ состояніи. Вычисленіе показываетъ, что даже въ такомъ наиболѣе совершенномъ процессѣ, гдѣ нѣтъ никакихъ абсолютно потерь, даже движущій механизмъ имѣетъ температуру тѣхъ тѣлъ, съ которыми прикасается, — только *нѣкоторая часть* взятаго изъ нагревателя *тепла* превращается въ работу, остальное же тепло переходитъ въ холодильникъ и для работы утрачивается. Эта часть выражается дробью, числитель которой *разность температуръ холодильника и*

*нагревателя*, а знаменатель — *абсолютная температура* (температура въ градусахъ Цельсія  $+ 273^{\circ}$ ) *нагревателя*. Такимъ образомъ въ этомъ идеальномъ циклѣ Карно достигается наибольшій выходъ работы при известной затратѣ тепловой энергіи въ томъ случаѣ, когда у насъ есть холодильникъ и нагреватель опредѣленной температуры. Понятное дѣло, что мы можемъ провести этотъ кругъ и въ обратномъ порядкѣ, т.-е. взять тепло отъ холодильника и перенести его къ нагревателю: для этого придется довести газъ до температуры холодильника, расширяя его на скамейкѣ В, заставить затѣмъ его *расширяться* на *холодильникѣ* и поглощать изъ него тепло, затѣмъ по прежнему способу заставить его *сжиматься* на *нагревателѣ* и отдавать ему тепло, и снова привести его въ первоначальное состояніе. При этомъ придется затратить, а не выиграть работу. Вообще говоря, мы не можемъ представить себѣ такого процесса, въ которомъ тепло переходило бы отъ холоднаго тѣла къ теплomu безъ затраты работы извнѣ. Другими словами *холоднымъ тѣломъ нельзя нагрѣть теплаго безъ затраты внешней работы*. Это положеніе кажется парадоксальнымъ, но мы сейчасъ увидимъ, что ничего здѣсь парадоксальнаго нѣтъ. Напомнимъ прежде всего, что теплымъ тѣломъ, независимо отъ того въ твердомъ, жидкомъ или газообразномъ состояніи оно находится, мы считаемъ то изъ двухъ тѣлъ, температура котораго выше. Такъ тѣло съ температурой въ  $500^{\circ}$  будетъ считаться холоднымъ по отношенію къ тѣлу съ температурой въ  $510^{\circ}$ . Замѣтивъ это хорошо, сдѣлаемъ такой опытъ. Возьмемъ приборъ, изображенный на рис. 24, стр. 58, и приготовимъ два стаканчика: одинъ съ дистиллированной водой, другой съ очень крѣпкимъ растворомъ калийной селитры, въ которомъ есть перастворившіеся кристаллы. Непосредственнымъ опытомъ мы можемъ убѣдиться, что когда селитра растворяется въ водѣ, то наблюдается сильное *охлажденіе*. Если мы начнемъ кипятить воду въ колбѣ и образующійся

паръ станемъ пропускать въ стаканчикъ съ водой чрезъ изогнутую трубку, то термометръ въ колбѣ будетъ показывать постоянно  $100^{\circ}$  С, а термометръ, опущенный въ стаканъ, будетъ постепенно повышаться и повышаться и, наконецъ, достигнетъ  $100^{\circ}$  С. Съ этого момента пузыри пара проходятъ чрезъ горячую воду, не поглощаясь. Продѣлаемъ тотъ же опытъ съ насыщеннымъ растворомъ селитры. Сначала мы не замѣчаемъ ничего особеннаго, только кристаллы мало-по-малу переходятъ въ растворъ. Температура раствора повышается, доходитъ до  $100^{\circ}$ , но пары еще продолжаютъ сгущаться. Тогда и замѣчается оригинальное явленіе: паръ, температура котораго  $100^{\circ}$  С, отдаетъ свое тепло водѣ, температура которой выше  $100^{\circ}$  ( $101^{\circ}$ , даже до  $107^{\circ}$ ), т.-е. *теплота отъ холоднаго тѣла ( $100^{\circ}$ ) передается тѣлу теплѣму ( $105^{\circ}$ )*. Наконецъ, температура поднимается до  $107^{\circ}$ , и только съ этого момента начинается свободное движеніе пузырей пара чрезъ горячій растворъ селитры. Термометръ въ колбѣ неизмѣнно показываетъ отъ начала и до конца опыта  $100^{\circ}$  С. Чтобы понять, какимъ образомъ происходитъ этотъ необычный переходъ тепла отъ холоднаго тѣла къ теплѣму, надо принять во вниманіе, что полученный растворъ селитры кипитъ при  $107^{\circ}$ , а дистиллированная вода—при  $100^{\circ}$ , въ чемъ мы можемъ убѣдиться прямымъ опытомъ; значить, при  $100^{\circ}$  давленіе паровъ чистой воды равно 760 мм, а давленіе паровъ раствора равно 760 мм только при  $107^{\circ}$ , другими словами, при  $100^{\circ}$  упругость пара раствора селитры меньше 760 мм, слѣдовательно, паръ долженъ сгуститься, какъ онъ сгущается въ холодильникъ паровой машины, при температурѣ котораго упругость пара воды ниже, чѣмъ въ котлѣ или въ цилиндрѣ. Въ этомъ легко можно убѣдиться, помѣстивъ въ одно колѣно изогнутой трубки крѣпкій растворъ селитры, а въ другое немного чистой воды. Если изъ трубки выкачать воздухъ и помѣстить въ теплое мѣсто (температура обоихъ колѣвъ должна быть, конечно, непременно одинаково), то вода перейдетъ, постепенно испаряясь, къ се-

лигрѣ. Такимъ образомъ, *вышла работа здѣсь найдена*: всякій переходъ пара отъ большой упругости къ меньшей влечетъ за собой въ подходящихъ условіяхъ появленіе механической работы. Можно подобрать цѣлый рядъ такихъ процессовъ, и ни въ одномъ изъ нихъ не будетъ перехода тепла отъ холоднаго тѣла къ теплomu, если только нѣтъ затраты работы. Изъ этого положенія, выведеннаго на основаніи *цѣлаго ряда опытовъ*, мы приходимъ къ выводу, что *количество тепла, переходящее въ работу, не зависитъ отъ рабочаго механизма, а только отъ температуръ холодильника и нагревателя* въ этомъ циклѣ Карно. Въ самомъ дѣлѣ, стоитъ только представить себѣ, что есть два механизма (два разныхъ газа, двѣ машины), изъ которыхъ одинъ переводитъ въ работу больше тепла, чѣмъ другой, какъ мы сейчасъ же получимъ то, чего не удается воспроизвести ни въ одномъ процессѣ; въ самомъ дѣлѣ, пусть одинъ механизмъ прямымъ процессомъ перенесетъ тепло изъ нагревателя въ холодильникъ, а другой—въ обратномъ порядкѣ изъ холодильника въ нагреватель, при чемъ одинъ произведетъ работу, другой затратитъ ее; если затраченная и выигранная работы одинаковы, то во второмъ случаѣ мы перенесемъ больше тепла, чѣмъ въ первомъ, согласно высказанному предположенію. Въ результатѣ—переносъ тепла изъ холоднаго тѣла къ теплomu безъ затраты работы, а этого не бываетъ, какъ показали всѣ безъ исключенія опыты. Выводъ невѣрный, разсужденіе правильное, значитъ, основное предположеніе невѣрно, т.-е., *мѣняя механизмъ, мы не можемъ получить больше работы, чѣмъ прежде*. Не будемъ забывать того, что въ циклѣ Карно получается *наибольшее возможное количество работы*, значитъ, всегда, во всѣхъ безъ исключенія процессахъ, протекающихъ между двумя температурами, когда происходитъ переходъ тепловой энергіи отъ тѣла съ болѣе высокой температурой къ тѣламъ съ температурой болѣе низкой, въ полезную работу можетъ превращаться только указанная часть тепла. Значитъ, мы теперь узнали,

что когда у насъ есть нагрѣватель и холодильникъ определенныхъ температуръ, то какую машину мы ни устраивали бы, всегда только сравнительно небольшая часть тепловой энергіи произвести то полезное дѣйствіе, ради котораго мы заставляемъ затрачиваться тепло. Для примѣра приведемъ паровую машину въ  $3\frac{1}{2}$  атмосферы съ температурой котла въ  $150^{\circ}\text{C}$  и холодильника въ  $45^{\circ}\text{C}$ . Тогда числитель дроби равенъ  $105^{\circ}$ , а знаменатель —  $150 + 273 = 423$ , т.-е. можетъ быть превращено въ работу при самыхъ благопріятныхъ (почти неосуществимыхъ) условіяхъ не болѣе одной четверти всего тепла, взятаго изъ котла, а остальные  $\frac{3}{4}$  идутъ на нагрѣваніе холодильника. Изъ этого же вывода Карно слѣдуетъ, что чѣмъ выше температура пара или воздуха, который служить для приведенія въ дѣйствіе поршня въ цилиндрѣ, тѣмъ меньше полезное дѣйствіе машины при одинаковой разницѣ температуръ нагрѣвателя и холодильника. Если мы не будемъ принимать мѣръ къ тому, чтобы температура холодильника не повышалась, то разница между температурами нагрѣвателя и холодильника будетъ дѣлаться все меньше и меньше; слѣдовательно, и полезное дѣйствіе машины тоже будетъ уменьшаться: одно и то же количество тепла, отданное нагрѣвателемъ, будетъ давать все меньшее количество работы. Пусть температура нагрѣвателя и холодильника сравняются, тогда у насъ въ числитель нуль, и вся дробь превращается въ нуль: никакой работы при этихъ условіяхъ произвести невозможно <sup>1)</sup>. Значитъ, если у насъ есть только одинъ нагрѣватель, а холодильника нѣтъ т.-е. если нашъ нагрѣватель нагрѣтъ до температуры окружающей среды, то никакой работы мы не

---

<sup>1)</sup> Если въ циклѣ Карно совершается работа при одной температурѣ, то здѣсь на самомъ дѣлѣ имѣемъ дѣло съ цѣлымъ рядомъ постепенныхъ чрезвычайно малыхъ пониженій температуры; мы сначала снимаемъ ничтожную часть груза, газъ чуть-чуть расширяется, охладится при этомъ на ничтожную долю градуса, потомъ чрезъ очень малое время, когда температура уравнивается, опять снимаемъ грузъ и т. д.

сможемъ получить, пользуясь такимъ нагрѣвателемъ, какой запасъ тепловой энергіи онъ ни заключалъ бы. Отсюда выводъ такой: въ океанахъ содержится невѣроятное количество энергіи въ калоріяхъ, но эта тепловая энергія не можетъ быть переведена въ работу, развѣ только нѣтъ холодильника, температура котораго хотя бы на малую долю градуса была бы ниже температуры этого необъятнаго резервуара тепла.

Посмотримъ теперь, чѣмъ оканчиваются обыкновенно процессы превращенія энергіи. Положимъ, у насъ двигатель совершаетъ извѣстную работу. Эта работа, въ концѣ-концовъ, тратится на треніе, будь то треніе о воздухъ, или треніе частей машины, или треніе инструмента о матеріалъ. Какъ бы то ни было, при совершеніи работы замедляется движеніе, и переходитъ вслѣдствіе тренія въ теплоту. Нагрѣваемые треніемъ тѣла оказываются, понятно, теплѣе окружающей среды и отдаютъ ей избытокъ тепла лучеиспусканіемъ или путемъ теплопроводности. Пусть могучая паровая машина двигаетъ огромный пароходъ: все-таки, въ концѣ-концовъ, дѣло сведется къ преодолѣнію сопротивленія воды, тренію и нагрѣванію воды, которое сейчасъ же влечетъ за собой передачу тепла болѣе холодной окружающей средѣ. Нефть горитъ въ форсунѣ подъ паровымъ котломъ, который питаетъ двигатель динамомшины; получаемая энергія въ видѣ тока служитъ для освѣщенія; большая часть энергіи, какъ мы видимъ, растрачивается въ видѣ тепла, небольшая же переходитъ въ лучистую энергію; свѣтовые лучи падаютъ на различные предметы, частью отражаются отъ нихъ, частью поглощаются, нагрѣвая эти тѣла; въ концѣ-концовъ, опять переходъ тепла къ окружающей болѣе холодной средѣ. Пороховой зарядъ заключаетъ въ себѣ массу потенциальной энергіи; производимъ взрывъ, выдѣляется масса тепла, которая сейчасъ же передается окружающей средѣ, а вылетѣвшій снарядъ все болѣе и болѣе замедляетъ быстроту полета, нагрѣвая по пути воздухъ вслѣдствіе тре-

ніа о него; упадетъ онъ на землю или попадетъ въ цѣль, все равно его кинетическая энергія переходитъ въ тепловую, болѣе высокаго напряженія (при болѣе высокой температурѣ), чѣмъ въ окружающей средѣ; значить, въ результатѣ опять является нагреваніе этой среды. Въ динамомашинахъ тоже неизбежно нагреваніе частей машины не только отъ тренія, но и отъ замыканія секцій внутри самихъ себя, такъ что и здѣсь часть энергіи растрачивается безъ пользы. Можно было бы привести массу такихъ примѣровъ, но и этихъ достаточно, чтобы указать на второй изъ важнѣйшихъ опытныхъ выводовъ ученія о превращеніи энергіи: во всѣхъ этихъ случаяхъ, какъ мы видѣли, все, въ концѣ-концовъ, сводится къ повышенію температуры окружающей среды, а такъ какъ эта среда можетъ быть постепенно расширяема отъ земной поверхности (суши и воды) къ воздушной оболочкѣ и, наконецъ, къ межпланетному пространству, которое безгранично, то это повышеніе температуры въ одномъ мѣстѣ влечетъ за собой уравнинію температуры всѣхъ тѣлъ природы, т.-е. къ приведенію ихъ въ такое состояніе, при которомъ не будетъ условій для совершенія работы. Значить, съ каждымъ процессомъ, въ чемъ бы онъ ни состоялъ, количество *энергіи, способной превращаться въ работу*, все убываетъ и убываетъ, хотя общій запасъ *всей энергіи* во вселенной не мѣняется. Такимъ образомъ, происходитъ постоянное *разсыпаніе энергіи*, которымъ и онредѣляется направленіе всѣхъ извѣстныхъ намъ процессовъ: всѣ они идутъ такимъ образомъ, что количество *свободной энергіи* непрерывно *убываетъ* во всемъ рядѣ тѣлъ, принимающихъ въ нихъ участіе. На основаніи этого же закона, который въ краткихъ словахъ передаетъ всю совокупность нашихъ свѣдѣній въ этомъ направленіи, въ *природѣ* нѣтъ абсолютно обратимыхъ процессовъ, т.-е. такихъ, при которыхъ сначала совершался бы переходъ отъ одного вида энергіи въ другой, и затѣмъ отъ этого другого—въ первый, причемъ всѣ дѣйствующія и окружающія тѣла оста-

лись бы въ томъ же первоначальномъ состояніи, какъ и до начала опыта. Конечно, мы часто говоримъ объ *обратимыхъ* процессахъ, напр., разбирая циклъ Карно, но въдь при этомъ мы для удобства разсужденія *нарочно* не обращаемъ вниманія на холодильникъ и нагреватель; къ первоначальному состоянію вернулся только рабочій механизмъ, а въ холодильникъ стало тепла больше, въ нагреватель—меньше. Можно указать на цѣлый рядъ явленій, которыя никоимъ образомъ не могутъ быть сдѣланы обратимыми вполне т.-е. чтобы по окончаніи обратнаго процесса *было* безъ исключенія окружающія *тѣла* оказались бы въ прежнемъ состояніи. Можно привести нѣсколько примѣровъ: пусть идеальный газъ расширится въ пустоту и займетъ большій объемъ. При этомъ онъ не нагреется и не охладится. Попробуемъ вернуть его въ прежнее состояніе: для этого надо сжать газъ грузомъ. Положимъ, мы это сдѣлали. Но газъ при этомъ нагреется, значитъ, надо это тепло отнять отъ него или, что все равно, отъ окружающей среды. Гири, которыя были наверху, теперь внизу, ихъ надо поднять. Словомъ, на такомъ простомъ примѣрѣ мы видимъ хорошій примѣръ необратимаго *имъ* при *какихъ* *условіяхъ* процесса. Точно такъ же и при явленіяхъ диффузіи: если у насъ болѣе крѣпкій растворъ сахара протиффундировалъ въ чистую воду, такъ что получился слабый равномерный растворъ, то раздѣлить его и получить обратно воду и крѣпкій растворъ нельзя, разъ только мы хотимъ, чтобы *было* окружающія тѣла остались бы въ первоначальномъ состояніи. Точно такъ же нельзя превратить пацѣло работу тренія опять въ механическую работу: какой бы мы холодильникъ ни употребляли, все-таки только нѣкоторая часть тепла, выдѣлившася при треніи, перейдетъ обратно въ работу. Прямого же перехода „трени“ въ работу въ какомъ-нибудь процессѣ мы и представить себѣ не можемъ. Далѣе, если тепло перешло путемъ теплопроводности отъ нагрѣтаго тѣла къ холодному, то совершенно невозможно перевести его обратно къ теплomu тѣлу.



Наконецъ, застываніе переохлажденной жидкости, сгущенію пара, упругость котораго временно больше упругости насыщенія при данной температурѣ, — тоже никакими приемами не могутъ быть сдѣланы вполне обратимыми. — Поэтому то все явленія, какъ простыя, такъ и сложныя, разъ въ нихъ замѣшаны только что перечисленные *затѣмъ* *необратимые* процессы, являясь также необратимыми. Вотъ почему мы можемъ выпустить пулю изъ ружья, взрывая смѣсь селитры, сѣры и угля; но превратить пороховые газы и копоть обратно въ порохъ, снова вернуть пулю въ дуло ружья и взвести опущенный курокъ такими приемами, при которыхъ *все* окружающія тѣла остались бы въ первоначальномъ состояніи мы не можемъ: часть энергіи переходитъ въ работу тренія, потомъ—въ теплоту, и теряется для насъ навсегда. Мы говоримъ, что изъ продуктовъ гніенія или горѣнія животныхъ и растений при содѣйствіи солнечной энергіи снова получаютъ тѣла, способныя горѣть, но откуда возмѣстится лучистая энергія солнца, затраченная имъ на этотъ процессъ? Въ ацетиленѣ мы накапливаемъ громадные количества связанной энергіи, еще большій запасъ потенциальной энергіи мы накапливаемъ въ озонѣ, — это все вѣрно, но какой цѣной покупается это накопленіе. Стоитъ только вспомнить, какъ совершаются эти два превращенія, чтобы прямо поразиться тѣмъ колоссальнымъ разсѣяніемъ энергіи окружающихъ и дѣйствующихъ тѣлъ, которое сопровождаетъ это „накопленіе“. Точно такъ же получается большая разность потенциаловъ при трансформированіи токовъ, напр.: въ бобинѣ Румкорфа, но и здѣсь это накопленіе свободной энергіи сопровождается переходомъ значительной части энергіи въ теплоту. Значитъ, мы не только не можемъ создать *работу изъ ничего* (*perpetuum mobile* первого рода), но и не можемъ *начать* превратить уже *истраченный запасъ энергии* путемъ хотя бы сложныхъ преобразованій *снова въ работу* (*perpetuum mobile* второго рода). Пароходъ, прошедшій чрезъ океанъ, прихо-

дится двигать въ обратный путь при помощи новыхъ затратъ потенциальной энергіи угля или нефти, и колоссальный запасъ энергіи, переданный имъ океану, хотя не уничтожился, но перешелъ въ такую форму, которая не можетъ быть нами сдѣлана цѣликомъ снова свободной.

Изъ этого закона вытекаетъ рядъ любопытнѣйшихъ слѣдствій, касающихся превращенія энергіи въ пѣкоторыхъ отдѣльных случаяхъ. Замѣтимъ, что всѣ эти частные выводы изъ закона разсѣянія энергіи сдѣланы чисто математическимъ путемъ безъ всякихъ новыхъ допущеній. Эти выводы указываютъ намъ на колоссальное значеніе высшей математики для правильнаго пониманія окружающей насъ природы. Приведемъ сначала такъ называемое правило Лешателье (Le-Chatelier). По этому правилу, если мы понижаемъ температуру системы или совокупности тѣлъ, то образуются тѣла или происходятъ процессы, выделяющіе тепло и наоборотъ. Всѣмъ намъ хорошо извѣстно, что ледъ при плавленіи поглощаетъ тепло и обратно вода, замерзая, выделяетъ тепло. Положимъ, у насъ есть смѣсь воды и льда при  $0^{\circ}$ . Станемъ охлаждать эту смѣсь, т.-е. стараться понизить ея температуру; оказывается, что до тѣхъ поръ, пока есть вода, температура не падаетъ ниже нуля. Сдѣлаемъ обратный опытъ, т.-е. будемъ стараться повысить температуру смѣси, нагревая ее; оказывается, что и здѣсь этого сдѣлать не удастся, пока есть ледъ. Попытка *понижить температуру* влечетъ за собой появленіе процесса, при которомъ *выделяется тепло*, и обратно при попыткахъ *повысить температуру* происходятъ процессы, *поглощающіе тепло*. Легко видѣть, что аналогичныя явленія происходятъ и при нагреваніи или охлажденіи воды и пара: *охлажденіе* влечетъ за собой сгущеніе части пара *выдѣленіе тепла*, а *нагреваніе*—обращеніе воды въ паръ, т.-е. поглощеніе тепла. Точно такъ же селитра, растворяясь въ водѣ, понижаетъ температуру ея. Попытка *повысить температуру* смѣси воды и селитры влечетъ за собой увели-

ченіи раствореніи есмитры, т.-е. вызываетъ процессъ, поглощающій тепло. Все газы, растворяясь въ жидкостяхъ, выделяютъ нѣкоторое количество тепла: *нагрѣваніе* раствора газа влечетъ за собой выдѣленіе газа изъ раствора, которое естественно требуетъ *запирания* тепла. Если къ желѣзной проволоки припаять съ двухъ концовъ мѣдную, погрузить спая одинъ въ воду при нулѣ градусовъ, а другой—въ ледъ тоже при 0°, и затѣмъ пропустить токъ отъ мѣди къ желѣзу (въ направленіи отъ воды въ ледъ), то вокругъ первого спая образуется ледъ, а вокругъ второго растаетъ такое же количество льда. Значитъ, въ зависимости отъ направленія тока происходитъ охлажденіе или нагрѣваніе спая. Если нагрѣть такое мѣсто спая въ цѣпи, то токъ идетъ отъ мѣди къ желѣзу: значитъ, при *нагрѣваніи* проволоки въ мѣстѣ спая развивается токъ, стремящійся *охладить* нагрѣваемое мѣсто. При изученіи химическихъ явленій мы часто нагадываемся на подобное же отношеніе: *нагрѣвая* водяной паръ, мы разлагаемъ его на водородъ и кислородъ, причемъ это разложеніе *поглощаетъ* тепло. Если мы станемъ *понижать температуру* этого раскаленного гремучаго газа, какъ сейчасъ же начнется образованіе водяного пара съ значительнымъ *выдѣленіемъ* тепла. Если взять два совершенно одинаковыхъ сосуда съ горячей водой и съ крѣпкимъ растворомъ йодаго натра той же температуры, то при одинаковыхъ условіяхъ этотъ растворъ охлаждается гораздо медленнѣе: при *пониженіи* температуры чрезъ лучеиспусканіе и теплопроводность въ немъ развиваются процессы, *выделяющие* тепло. На основаніи этихъ фактовъ можно съ извѣстной долей вѣроятія предположить, почему солнце не охлаждается быстро, несмотря на постоянную потерю тепла: разъединенные элементы, входящіе въ его составъ, при пониженіи температуры соединяются и развиваютъ массу тепла, если только въ составъ солнца не входятъ элементы, подобные радію (Короніи?), способные переходить въ другіе элементы съ выдѣленіемъ громаднаго количества тепла. Къ явленіямъ, ано-

логичнымъ объявляемымъ правиломъ Ле-Шателье, относятся и явленія при отклоненіи магнитной стрѣлки токомъ, явленіяхъ индукціи, электромагнитнаго явленія и т. д., хотя здѣсь мы не видимъ сразу разсѣянія энергіи въ видѣ не идущаго въ работу тепла: мы уже упоминали, что направленіе наведенныхъ токовъ таково, что они своимъ магнитнымъ дѣйствіемъ стремятся препятствовать вызвавшему ихъ перемѣщенію. Словомъ сказать, подобныхъ явленій мы можемъ подыскать множество.

Далѣе мы знаемъ, что при превращеніи твердыхъ тѣлъ въ жидкое или жидкихъ и твердыхъ въ парообразное состояніе требуется затрата тепла съ одной стороны, и совершается извѣстная работа вслѣдствіе измѣненія объема—съ другой. Изучая это явленіе математически съ точки зрѣнія второго закона ученія объ энергіи, мы приходимъ къ выводу, что температура плавленія льда должна понижаться съ увеличеніемъ давленія; въ самомъ дѣлѣ, мы имѣемъ полную возможность убѣдиться качественно въ вѣрности этого вывода при катаніи на конькахъ или на саняхъ, при разрѣзаніи льда проволокой и т. д.; мало этого, точные *количественные* опыты Томсона, Бунзена и др. падъ повышеніемъ или пониженіемъ температуры плавленія показываютъ, что температуры, вычисленныя на основаніи величинъ объемныхъ отношеній льда и воды, твердаго и жидкаго параффина и т. п. и ихъ тепла плавленія, вполне отвѣчаютъ найденнымъ опытамъ, при чемъ всегда оказывается, что точка плавленія тѣлъ, расширяющихся при плавленіи, съ увеличеніемъ давленія, повышается (параффинъ, сѣра), а сжимающихся при этомъ (ледъ), наоборотъ, понижается.

Такимъ же точно образомъ на основаніи второго закона ученія объ энергіи изслѣдуются теоретически и проверяются опытомъ повышеніе температуры кипѣнія съ увеличеніемъ давленія, измѣненіе растворимости съ измѣненіемъ температуры и т. д. Главное во всѣхъ этихъ приложеніяхъ второго закона заключается въ возможности указать *напра-*

вленіе процесса, потому что первый законъ (сохраненіе энергій) даетъ намъ въ руки только средство для учета количества превращенной энергій, но совершенно не позволяетъ рѣшать вопросъ о томъ, будетъ ли образовываться въ томъ или другомъ случаѣ гремучій газъ изъ воды или вода изъ гремучаго газа.

Въ заключеніе будетъ не бесполезно указать еще на одну правильность, которая въ особенности ярко выступаетъ въ химическихъ превращеніяхъ. Дѣло въ томъ, что когда мы нарушаемъ равновѣсіе какой-нибудь системы, то въ механическихъ процессахъ очень часто, хотя и не всегда, не получается новое положеніе равновѣсія, а наоборотъ, система принимаетъ самое неустойчивое положеніе изъ всѣхъ возможныхъ; такъ, напр., когда мы отводимъ маятникъ отъ его вертикальнаго положенія, отклоненный маятникъ переходитъ чрезъ положеніе равновѣсія, удаляясь почти на такой же уголъ въ другую сторону, на какой онъ былъ отклоненъ. Точно такъ же если мы расплавимъ осторожно (прибавивъ немного воды) въ колбѣ кристаллы сѣрповатистокислаго натрія (гипосульфитъ фотографовъ), нагрѣемъ растворъ почти до кипѣнія и оставимъ его охлаждаться, закрывъ отверстіе ватой, то полученный густой, какъ масло, растворъ, будетъ сохраняться въ жидкомъ видѣ очень долгое время; его можно даже осторожно трести безъ измѣненія его состоянія; но стоитъ только бросить въ колбу микроскопическій хотя бы кристалликъ гипосульфита, какъ весь растворъ превратится въ твердую кристаллическую массу и сильно нагрѣется при этомъ. Такое же явленіе наблюдается и при осторожномъ охлажденіи сѣлѣтомъ съ солью хорошо прокипяченной дистиллированной воды, лучше всего въ запальной трубкѣ, изъ которой кипяченіемъ удалить весь воздухъ. Можно при этомъ понизить температуру воды до  $-12^{\circ}\text{C}$ , и она не замерзнетъ. При осторожномъ нагрѣваніи чистаго масла (напр., льняного), въ которомъ находятся мелкіе водяные шарики, можно поднять температуру до  $140^{\circ}$ ,

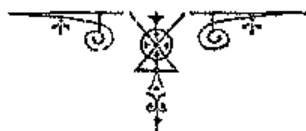
и вода не обратится въ паръ, а между тѣмъ давленіе ся паровъ при этой температурѣ около 3-хъ атмосферъ. Такихъ примѣровъ можно подобрать много, но съ особенной ясностью этотъ переходъ къ неустойчивой системѣ при нарушении равновѣсія наблюдается при химическихъ превращеніяхъ: изъ парообразнаго состоянія фосфоръ переходитъ въ желтую, болѣе энергичную, неустойчивую модификацію, которая только съ теченіемъ времени переходитъ въ красную; сѣра изъ расплавленнаго состоянія переходитъ въ игольчатую сѣру, которая только чрезъ большой промежутокъ времени превращается въ мелкіе кристаллы ромбической сѣры; іодистая ртуть образуется при осажденіи изъ раствора или при охлажденіи паровъ въ видѣ желтой неустойчивой модификаціи, и только треніемъ или нагрѣваніемъ можно перевести ее въ ярко красное устойчивое видоизмѣненіе. Такихъ явленій, въ особенности болѣе сложныхъ можно было бы привести очень много, но для насъ достаточно и этого небольшого числа, чтобы на примѣрахъ показать, въ чемъ именно состоитъ такъ называемое *правило Оствальда*. Далѣе было бы интересно приложить второй законъ ученія объ энергіи къ физиологическимъ процессамъ.

Для насъ прежде всего важно опредѣлить, совершается ли разсѣяніе энергіи въ тѣлѣ человѣка или нѣтъ? Отвѣтъ на этотъ вопросъ ясенъ самъ по себѣ, такъ какъ всѣ процессы въ тѣлѣ человѣка влекутъ за собой большее или меньшее нагрѣваніе его частей. При этомъ очень важно замѣтить, что тѣло человѣка представляетъ сравнительно выгодную машину, такъ какъ оно работаетъ при очень низкой постоянной температурѣ. Всякое накопленіе тепла, превосходящее норму, сейчасъ же влечетъ за собой большую потерю черезъ теплопроводность и лучеиспусканіе, такъ какъ при этомъ немедленно происходитъ большій притокъ крови къ кожѣ, большее испареніе влаги съ поверхности и т. д. Если же химическіе процессы внутри человѣческаго организма вызываютъ большое выдѣленіе тепла, а вслѣдствіе

какихъ бы то ни было нарушеній правильности регулированія дѣятельности кожи замедляется его потеря, то въ результатѣ получается повышение температуры, при которой весь ходъ „машины“ разстраивается. Другое любопытное явленіе какъ будто бы намекаетъ на приложеніе правила Ле-Шателье къ географическому распредѣленію животной жизни на землѣ: оно было замѣчено Кэнтонемъ (Quintou). Въ высшей степени замѣчательно, что въ *жаркихъ* странахъ по преимуществу преобладаютъ животныя съ *низкой температурой* тѣла: какое громадное разнообразіе змѣй, насекомыхъ и рыбъ въ тропическомъ поясѣ, между тѣмъ какъ полярныя страны очень бѣдны представителями этихъ классовъ животного міра. Сравнивая жизнь болѣе раннихъ эпохъ земного шара съ позднѣйшими, мы и гдѣ замѣчаемъ, что въ тѣ времена, когда, по всему вѣроятію, на климаты вліяла и внутренняя теплота земного шара, количественно преобладали животныя съ низкой температурой тѣла. Точно такъ же мы можемъ сказать, что при безконечномъ измѣненіи живыхъ существъ, изъ однихъ формъ появляются другія, сначала малоустойчивыя, которыя и погибаютъ, давалъ начало новымъ организмамъ, болѣе приспособленнымъ къ виѣшней средѣ и потому болѣе устойчивымъ въ данныхъ условіяхъ жизни.

Такимъ образомъ мы видѣли, что во всѣхъ процессахъ, происходящихъ съ тѣлами, замѣчается непрерывная замѣна однихъ формъ энергіи другими. Всѣ эти формы такъ тѣсно связаны другъ съ другомъ количественно, что, несмотря на ихъ качественное различіе, человѣческій умъ видитъ въ нихъ проявленіе одной и той же сущности—*неразрушимой и несоздаемой* *матеріи*. Мѣняется только форма, но не мѣняется количество, и тѣмъ не менѣе во всѣхъ процессахъ общее количество *свободной энергіи*, способной вызвать какія бы то ни было превращенія или измѣненія свойствъ, дѣлается все меньше и меньше. Такимъ образомъ годъ за годомъ, день за днемъ, секунда за секундой становится все меньше и

меньше этого возбудителя жизни, и вся вселенная стремится неудержимо къ полному покою—своей неизбѣжной и естественной смерти. Всѣ существующія во вселенной тѣла стремятся къ вѣчному и полному покою, это правда, но достигнуть его они могутъ только тогда, когда совершать всю работу и *всю* превращенія, къ какимъ только они способны, словомъ, этотъ покой наступитъ только тогда, когда исчезнуть во вселенной послѣдніе слѣды *свободной энергии*.





# ТАБЛИЦА I.

**Вѣсъ одного кубическаго сантиметра различныхъ  
твердыхъ тѣлъ въ граммахъ.**

Литій . . . . .	0,59	Олово . . . . .	7,3
Калій . . . . .	0,87	Марганецъ . . . . .	7,7
Натрій . . . . .	0,98	Желѣзо . . . . .	7,8
Магній . . . . .	1,74	Никкель . . . . .	8,28
Фосфоръ ж. . . . .	1,83	Мѣдь . . . . .	8,92
Сѣра . . . . .	2,06	Серебро . . . . .	10,53
Алюминій . . . . .	2,6	Свинецъ . . . . .	11,36
Алмазь . . . . .	3,52	Платина . . . . .	21,2
Іодъ . . . . .	4,95	Иридій . . . . .	22,42
Сурьма . . . . .	6,7	Осмій . . . . .	22,48
Цинкъ . . . . .	7,2	—	—
Тополь . . . . .	0,38	Букъ . . . . .	0,75
Сосна . . . . .	0,47	Дубъ . . . . .	0,9
Липа . . . . .	0,48	Красное дерево . . . . .	1,06
Ель . . . . .	0,52	Черное дерево . . . . .	1,22
Орѣхъ . . . . .	0,67	Бакаутъ . . . . .	1,28
Береза . . . . .	0,72	Самшитъ . . . . .	1,38
—	—	—	—
Азбестъ . . . . .	2,1—2,8	Песчаникъ . . . . .	2,3
Вазальтъ . . . . .	2,7—3,2	Порфиръ . . . . .	2,75
Гипсъ . . . . .	2,31	Глин. сланецъ . . . . .	2,8
Глина . . . . .	1,8—2,5	Уголь бурый . . . . .	1,2—1,4
Гранитъ . . . . .	2,5—3,15	Уголь камен. . . . .	1,25—1,6
Известнякъ . . . . .	2,5—2,8	Кварцъ . . . . .	2,65
Мраморъ . . . . .	2,75	Слюда . . . . .	2,65—3,15
Мѣль . . . . .	2,1—2,7	Полевой шпатъ . . . . .	2,55
Песокъ . . . . .	1,5	Змѣевикъ . . . . .	2,5
—	—	Ледъ . . . . .	0,92
Воскъ . . . . .	0,97	—	—
Гуттаперча . . . . .	0,97	Стекло . . . . .	2,46—2,9
Каучукъ . . . . .	0,96	Хрусталь . . . . .	3,15—3,9
Слоновая кость . . . . .	1,88	Фарфоръ . . . . .	2,2—2,5
Омола . . . . .	1,07	Цементъ . . . . .	2,7—3,1
—	—	Парафинъ . . . . .	0,89
—	—	Проба . . . . .	0,24

## ТАБЛИЦА II.

Температуры плавления различных тѣлъ въ градусахъ Цельсія.

Твердый водородъ . . .	-258°,3	Натрій . . . . .	+93
„ азотъ . . . . .	-210°,5	Обра . . . . .	114°
„ окись углер. . . . .	-207°	Олово . . . . .	233°
„ метанъ . . . . .	-184°	Кадмій . . . . .	321°,7
„ окись азота . . . . .	167°	Свинецъ . . . . .	326°,9
„ алкоголь . . . . .	-180°	Цинкъ . . . . .	419°
„ эфиръ . . . . .	-117°,6	Сурьма . . . . .	630°,6
„ толуолъ . . . . .	-102°	Алюминій . . . . .	657°
„ хлороформъ . . . . .	-71°	Серебро . . . . .	961°,5
„ ртуть . . . . .	-38°,8	Золото . . . . .	1064°
„ ледъ . . . . .	0°	Мѣдь . . . . .	1084°
Фосфоръ желтый . . .	+44°	Никкель . . . . .	1454°
Калій . . . . .	62°	Платина . . . . .	1780°

## ТАБЛИЦА III.

Вѣсъ одного кубическаго сантиметра различныхъ жидкихъ тѣлъ въ граммахъ.

Жидкий водородъ . . .	0,07	Жидкий кислородъ . . .	1,13
Жидкий ацетиленъ . . .	0,45	Муравьиная кислота . .	1,23
Пентанъ . . . . .	0,63	Глицеринъ . . . . .	1,26
Обыкновенный эфиръ . . .	0,74	Сѣроуглеродъ . . . . .	1,29
Вялый спиртъ . . . . .	0,79	Хлороформъ . . . . .	1,53
Древесный спиртъ . . .	0,81	Нитроглицеринъ . . . .	1,61
Бензолъ . . . . .	0,89	Бромформъ . . . . .	2,5
Масляная кислота . . .	0,97	Бромъ . . . . .	3,1
Вода . . . . .	1,00	Иодистый метиленъ . . .	3,54
Анилинъ . . . . .	1,04	Ртуть . . . . .	13,59
Терпентинъ . . . . .	0,87	Ворвань . . . . .	0,93
Керосинъ . . . . .	0,78—0,88	Льняное масло . . . . .	0,94
Сурьмяное масло . . . .	0,91	Молоко . . . . .	1,03
Прованское масло . . .	0,92	Жидкость Туле *) около 3.	

\*) Растворъ іодистой ртути въ крапномъ растворѣ іодистаго кали.

Растворы іодистой ртути въ растворахъ іодистаго барія, хлористаго цинка или свинца употребляются при раздѣленіи горныхъ породъ на составляющія ихъ минералы.

Вѣсъ одного куб. сантиметра этихъ жидкостей можетъ мѣняться—въ зависимости отъ крепости раствора—отъ 3 до 5.

ТАБЛИЦА IV.

Вѣсъ 1000 кубическихъ сантиметровъ различныхъ газовъ при 0°С и 760 мм. давленія въ граммахъ.

Водородъ . . . . .	0,08996	Воздухъ . . . . .	1,2936
Гелий . . . . .	0,18	Кислородъ . . . . .	1,4292
Метанъ . . . . .	0,729	Углекислота . . . . .	1,971
Аммиакъ . . . . .	0,775	Сѣрный газъ . . . . .	2,898
Ацетиленъ . . . . .	1,170	Хлоръ . . . . .	3,220
Этиленъ . . . . .	1,267	Бромоводородъ . . . . .	3,6167
Азотъ . . . . .	1,2507	Иодоводородъ . . . . .	5,766

Вѣсъ 773 кубическихъ сантиметровъ различныхъ газовъ при 0°С и 760 мм. давленія въ граммахъ.

Водородъ . . . . .	0,0696	Воздухъ . . . . .	1,00
Гелий . . . . .	0,14	Кислородъ . . . . .	1,1063
Метанъ . . . . .	0,551	Углекислота . . . . .	1,520
Аммиакъ . . . . .	0,59	Сѣрный газъ . . . . .	2,36
Ацетиленъ . . . . .	0,9056	Хлоръ . . . . .	2,49
Этиленъ . . . . .	0,964	Бромоводородъ . . . . .	2,81
Азотъ . . . . .	0,967	Иодоводородъ . . . . .	4,44

ТАБЛИЦА V.

Сравнительная теплопроводность различныхъ твердыхъ тѣлъ.

Серебро . . . . .	100,	Железо . . . . .	11,6
Мѣдь . . . . .	78,8	Сталь . . . . .	11,9
Золото . . . . .	53,2	Свинецъ . . . . .	8,1
Латунь . . . . .	23,1	Платина . . . . .	8,4
Цинкъ . . . . .	19,1	Нейзильберъ . . . . .	6,8
Олово . . . . .	14,5	Висмутъ . . . . .	1,8

ТАБЛИЦА VI.

Теплоемкость различныхъ тѣлъ.

(Число калорий, потребныхъ для нагреванія одного килограмма тѣла на 1° С).

Натрій . . . . .	0,2834	Железо . . . . .	0,1138
Алюминій . . . . .	0,2143	Цинкъ . . . . .	0,0956
Фосфоръ . . . . .	0,1843	Мѣдь . . . . .	0,0951
Сѣра . . . . .	0,1776	Бромъ . . . . .	0,0843

Серебро . . . . .	0,0570	Эфиръ . . . . .	0,0340
Олово . . . . .	0,0532	Уксусная кислота . . . . .	0,5267
Юдь . . . . .	0,0541	Алкоголь . . . . .	0,4229
Платина . . . . .	0,0324	Сѣроуглеродъ . . . . .	0,2296
Ртуть . . . . .	0,0319	*) Водородъ . . . . .	3,4
Свинецъ . . . . .	0,0314	*) Аммиакъ . . . . .	0,5609
Вода . . . . .	1,0000	*) Углекислота . . . . .	0,2420
Ледъ . . . . .	0,5620	*) Воздухъ . . . . .	0,2388

## ТАБЛИЦА VII.

### Теплота плавленія различныхъ тѣлъ.

1 килограммъ тѣла, превращаясь при температурѣ плавленія въ жидкость той же температуры, поглощаетъ калорій:

Серебро . . . . .	28,1	Свинецъ . . . . .	5,8
Цинкъ . . . . .	8,1	Фосфоръ . . . . .	4,74
Платина . . . . .	27,2	Ледъ . . . . .	80,02
Бромъ . . . . .	16,2	Уксусная кислота . . . . .	46,4
Кадмій . . . . .	13,7	Калийная селитра . . . . .	48,9
Висмутъ . . . . .	12,4	Глицеринъ . . . . .	42,5
Олово . . . . .	12,4	Парафинъ . . . . .	35,1
Юдь . . . . .	11,7	Вазольтъ . . . . .	30,1
Сѣра . . . . .	9,4	Чугунъ обыкновенный . . . . .	30, -

## ТАБЛИЦА VIII.

### Температуры кипѣнія некоторыхъ тѣлъ при 760 мм. давленія въ градусахъ Цельсія.

Жидкий водородъ . . . . .	-252,5	Сѣроуглеродъ . . . . .	46°
„ азотъ . . . . .	-195°,5	Древесный спиртъ . . . . .	63°,7
„ кислородъ . . . . .	-182°,5	Абсол. алкоголь . . . . .	78°,3
„ метанъ . . . . .	-164°	Вода . . . . .	+100°
„ этиленъ . . . . .	-102°,5	Уксусная кислота . . . . .	118°
„ углекислота . . . . .	78°	та . . . . .	
„ хлоръ . . . . .	-36°,6	Анилинъ . . . . .	184°,1
„ аммиакъ . . . . .	-33°,7	Нафталинъ . . . . .	218°
„ сѣрнистый газъ . . . . .	-8°	Вензифенинъ . . . . .	305°,8
„ бутанъ . . . . .	+1	Ртуть . . . . .	356°,7
„ Обыкновен. эфиръ . . . . .	34°,9	Сѣра . . . . .	444°,6

\* При постоянномъ давленіи.

Пятикислородный фосфор . . . . .	518 <sup>0</sup>	Кадмій . . . . .	750 <sup>0</sup>
Хлористое олово . . . . .	610 <sup>0</sup>	Цинкъ . . . . .	916 <sup>0</sup>
Хлорист. цинкъ . . . . .	730 <sup>0</sup>	Сурьма выше . . . . .	1300 <sup>0</sup>
		Теллуръ около . . . . .	1400 <sup>0</sup>

# ТАБЛИЦА IX.

## Теплота парообразования различныхъ тѣлъ.

1 килограммъ тѣла, при температурѣ кипѣнія, превращаясь въ паръ той же температуры, поглощаетъ калорий:

Бромъ . . . . .	46	Бензолъ . . . . .	94
Ртуть . . . . .	60	Уксусная кислота . . . . .	120
Хлороформъ . . . . .	61	Винный спиртъ . . . . .	208
Камфора . . . . .	77	Древесный спиртъ . . . . .	259
Оксисернистый газъ . . . . .	88	Жидкій аммиакъ . . . . .	330
Эфиръ . . . . .	87	Вода . . . . .	537
Жидкій хлор. метилъ . . . . .	92,4		

# ТАБЛИЦА X.

## Критическія температуры въ градусахъ Цельсія (А) и критическія давленія въ атмосферахъ (В).

	А	В		А	В
Водородъ . . . . .	-235 <sup>0</sup>	20	Аммиакъ . . . . .	+130 <sup>0</sup>	115
Азотъ . . . . .	-146 <sup>0</sup>	35	Хлоръ . . . . .	+140 <sup>0</sup>	93
Кислородъ . . . . .	-119 <sup>0</sup>	51	Оксисернистый газъ . . . . .	+155 <sup>0</sup>	79
Болотный газъ . . . . .	-82 <sup>0</sup>	55	Алкоголь . . . . .	+234 <sup>0</sup>	63
Этиленъ . . . . .	+ 10,5	44	Бензолъ . . . . .	+292 <sup>0</sup>	60
Углекислота . . . . .	+ 31	73	Вода . . . . .	+365 <sup>0</sup>	200
Захисъ азота . . . . .	+ 36	73			

# ТАБЛИЦА XI.

## Элементы, ихъ символы и атомные вѣса.

Азотъ N . . . . .	14,04	Бромъ Br . . . . .	79,93
Алюминій Al . . . . .	27,1	Ванадій V . . . . .	51,2
Аргонъ Ar . . . . .	39,9	Висмутъ Bi . . . . .	208,5
Барій Ba . . . . .	137,4	Водородъ H . . . . .	1,01
Бериллій Be . . . . .	9,1	Вольфрамъ W . . . . .	184
Боръ B . . . . .	11	Гадолиний Gd . . . . .	156

Галлій <i>Ga</i> . . . . .	70	Платина <i>Pt</i> . . . . .	194,8
Гелій <i>He</i> . . . . .	4	Празеодымъ <i>Pr</i> . . . . .	140,5
Германій <i>Ge</i> . . . . .	72,5	Радій <i>Rd</i> . . . . .	225
Желѣзо <i>Fe</i> . . . . .	55,9	Родій <i>Rh</i> . . . . .	103,0
Золото <i>Au</i> . . . . .	197,2	Ртуть <i>Hg</i> . . . . .	200,0
Индій <i>In</i> . . . . .	115	Рубидій <i>Rb</i> . . . . .	85,5
Ирмидій <i>Ir</i> . . . . .	193	Рутеній <i>Ru</i> . . . . .	101,7
Иттербій <i>Yb</i> . . . . .	173	Самарій <i>Sa</i> . . . . .	150,3
Итрій <i>Y</i> . . . . .	89	Свинецъ <i>Pb</i> . . . . .	206,9
Йодъ <i>I</i> . . . . .	126,97	Селенъ <i>Se</i> . . . . .	79,2
Кадмій <i>Cd</i> . . . . .	112,4	Серебро <i>Ag</i> . . . . .	107,93
Калій <i>K</i> . . . . .	39,15	Скандій <i>Sc</i> . . . . .	44,1
Кальцій <i>Ca</i> . . . . .	40,1	Стронцій <i>Sr</i> . . . . .	87,6
Кислородъ <i>O</i> . . . . .	16,00	Сурьма <i>Sb</i> . . . . .	120,2
Кобальтъ <i>Co</i> . . . . .	59	Сѣра <i>S</i> . . . . .	32,06
Кремній <i>Si</i> . . . . .	28,4	Таллій <i>Tl</i> . . . . .	204,1
Криптопъ <i>Kr</i> . . . . .	81,8	Танталъ <i>Ta</i> . . . . .	183
Ксенопъ <i>X</i> . . . . .	128	Теллуръ <i>Te</i> . . . . .	127,6
Лантанъ <i>La</i> . . . . .	138,9	Тербій <i>Tb</i> . . . . .	160
Литій <i>Li</i> . . . . .	7,03	Титанъ <i>Ti</i> . . . . .	48,1
Магній <i>Mg</i> . . . . .	24,36	Торій <i>Th</i> . . . . .	231,5
Марганецъ <i>Mn</i> . . . . .	55,0	Тулій <i>Tu</i> . . . . .	171
Молибденъ <i>Mo</i> . . . . .	96,0	Углеродъ <i>C</i> . . . . .	12,00
Мышьякъ <i>As</i> . . . . .	75,0	Уранъ <i>U</i> . . . . .	238,5
Мѣдъ <i>Cu</i> . . . . .	63,6	Фосфоръ <i>P</i> . . . . .	31,0
Натрій <i>Na</i> . . . . .	23,05	Фторъ <i>F</i> . . . . .	19
Неодымъ <i>Nd</i> . . . . .	143,6	Хлоръ <i>Cl</i> . . . . .	35,45
Неонъ <i>Ne</i> . . . . .	20	Хромъ <i>Cr</i> . . . . .	52,1
Никкель <i>Ni</i> . . . . .	58,7	Цезій <i>Cs</i> . . . . .	132,9
Ніобій <i>Nb</i> . . . . .	94	Церій <i>Ce</i> . . . . .	140,25
Олово <i>Sn</i> . . . . .	119,0	Цинкъ <i>Zn</i> . . . . .	65,4
Осмій <i>Os</i> . . . . .	191	Цирконій <i>Zr</i> . . . . .	90,6
Палладій <i>Pd</i> . . . . .	106,5	Эрбій <i>Er</i> . . . . .	166

## ТАБЛИЦА XII.

### Сравнительная электропроводность металловъ.

Серебро . . . . .	100	Желѣзо . . . . .	13,0
Хим. чистая мѣдъ . . . . .	93,08	Свинецъ . . . . .	10,7
Продажная мѣдъ . . . . .	79,3	Платина . . . . .	10,3
Золото . . . . .	58,5	Висмутъ . . . . .	1,9

**Сопротивленіе металлическихъ проволокъ при 0° въ  
1 метръ длиною и 1 миллиметръ въ поперечникѣ—  
въ омахъ,**

Серебро . . . . .	0,0151	Желѣзо. . . . .	0,0973
Мѣдь . . . . .	0,0180	Никкель . . . . .	0,1244
Золото . . . . .	0,0206	Свинецъ . . . . .	0,1904
Алюминій . . . . .	0,0292	Нейзильбергъ *) . . . . .	0,2070
Цинкъ . . . . .	0,0563	Ртуть . . . . .	0,9434
Платина . . . . .	0,0907		

К О Н Е Ц Ъ.

---

\*) Сплавъ мѣди, цинка и никкеля.

# ОГЛАВЛЕНІЕ.

	<i>Стр.</i>
Предисловіе. . . . .	1
Введеніе. Матерія и энергія. . . . .	3
Глава I. Общія свойства тѣлъ . . . . .	11
II. Движеніе и работа . . . . .	34
III. Тепловыя явленія. . . . .	46
IV. Химическія явленія. . . . .	77
V. Электричество . . . . .	117
VI. Гальванизмъ . . . . .	136
VII. Электричество и магнетизмъ . . . . .	163
VIII. Свѣтovyя и электрич. волны . . . . .	200
IX. Препращенія энергіи въ животныя и расте- ніяхъ . . . . .	215
X. Разсѣяніе энергіи. . . . .	236
Таблицы. . . . .	256—262